

Inrichting rioolmodel zuiveringsgebied Beveren-Leie

Bacheloreindopdracht



Student: Ruud Boom (s1238698)

Opdrachtgever: Antea Group België, Gent

Opleiding: Bachelor Civiele Techniek

Onderwijsinstelling: Universiteit Twente, Enschede

Datum: 22 april - 9 juli 2014

Contactgegevens

Hieronder zijn de contactgegevens van de student, de begeleider vanuit de Antea Group en de begeleider vanuit de Universiteit Twente terug te vinden. Daarnaast zijn de gegevens van de vestiging, de contactpersonen en de tweede beoordelaar weergegeven.

Student

Naam: Ruud Boom
Studentnummer: s1238698
Verblijfadres: Molenaarsstraat 63D, Gent
Telefoon: 06-37179731
E-mail: r.j.h.m.boom@student.utwente.nl

Gegevens vestiging Antea Group

Adres: Poortakkerstraat 41
9051 Gent, België
Telefoon: +32 (0)9 261 63 00

Begeleider Antea Group

Naam: Bart De Clerck
Telefoon: +32 (0)9 261 63 58
E-mail: bart.declerck@anteagroup.com

Contactpersoon Antea Group

Naam: Dirk Vandenbussche
Telefoon: +32 (0)9 261 63 41
E-mail: dirk.vandenbussche@anteagroup.com

Begeleider Universiteit Twente

Naam: Pieter Roos
Telefoon: +31 53 489 5608
E-mail: p.c.roos@utwente.nl

Contactpersoon Universiteit Twente

Naam: Martijn Booij
Telefoon: +31 53 489 2564
E-mail: m.j.booij@utwente.nl

Tweede beoordelaar

Naam: Marc van Buiten
Telefoon: +31 53 489 4836
E-mail: m.vanbuiten@utwente.nl

Voorwoord

Dit verslag is gemaakt ter afsluiting van de bacheloropleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. In deze eindopdracht heb ik de opgedane kennis tijdens de opleiding in de praktijk mogen brengen bij de afdeling Hydronautstudies van de Antea Group. Specifiek heb ik dit gedaan van 22 april tot en met 9 juli bij de vestiging in Gent. De opdracht waaraan ik heb gewerkt was het modelleren van de huidige situatie van het rioleringsstelsel in zuiveringsgebied Beveren-Leie.

Tijdens de stage heb ik mogen werken binnen een internationaal opererend ingenieurs- en adviesbureau. Antea Group opereert in zes continenten en bezit meer dan honderd kantoren met ruim drieduizend medewerkers. De vakgebieden waarin ze zich begeven zijn onder andere infrastructuur, waterbouw, milieu en stedenbouw. Ik heb veel geleerd tijdens de stage en mogen ervaren hoe er in een professioneel studiebureau wordt gewerkt. Ik wil de Antea Group bedanken voor het krijgen van deze kans.

Tijdens de opdracht heb ik veel gehad aan mijn collega's van de afdeling Hydronautstudies, die altijd bereid waren om vragen te beantwoorden en uitleg te verschaffen. Hiervoor wil ik mijn collega's hartelijk danken.

Een speciaal woord van dank gaat uit naar Bart De Clerck, mijn bedrijfsbegeleider tijdens de stageperiode. Zonder hem had ik deze opdracht niet kunnen voltooien. Verder gaat mijn dank uit naar mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, meneer Roos. Hij heeft ervoor gezorgd dat mijn verslag de gewenste kwaliteit heeft gekregen. Tot slot wil ik mijn tweede beoordelaar, meneer van Buiten bedanken.

Inhoudsopgave

Contactgegevens	1
Voorwoord	2
Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	6
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen	8
1.4 Methodologie.....	8
1.5 Leeswijzer	9
2 Theorie	10
2.1 Algemene theorie riolering	10
2.2 Specifieke theorie.....	11
3 Rioldeelbekkenschema.....	15
4 Modelopzet	17
5 Randvoorwaarden	22
6 Validatie.....	23
7 Resultaten	25
8 Discussie	30
9 Conclusie en aanbevelingen.....	32
9.1 Conclusie	32
9.2 Aanbevelingen.....	33
10 Bibliografie	34
Bijlage A: Werking pompen	35
Bijlage B: Knijpconstructies	40
Bijlage C: Overstorten en terugslagkleppen.....	43
Bijlage D: Inbrengen van constructies.....	44
Bijlage E: Bevraging bedrijven	50
Bijlage F: Bewerking composietbuizen	52
Bijlage G: Voorbereiding terreinbezoek	55
Bijlage H: Leidingen onder druk	57
Bijlage I: Simulatieresultaten.....	58

Samenvatting

In het zuiveringsgebied Beveren-Leie is grotendeels een gemengd en verouderd rioleringsstelsel aanwezig. Hierdoor werkt de rioolwaterzuiveringsinstallatie niet optimaal. Bijkomend is de capaciteit van het stelsel ontoereikend. Rioolbeheerder Infrac heeft daarom gevraagd om een rioolmodel van de huidige toestand in Beveren-Leie, waarmee de knelpunten in het stelsel achterhaald kunnen worden. De hoofdvraag die beantwoord moet worden is: welke knelpunten kent het rioleringsstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie en hoe kunnen deze opgelost worden?

Om een antwoord op de hoofdvraag te kunnen geven is eerst de werking van een rioleringsstelsel geanalyseerd. Het rioleringsstelsel zal uiteindelijk toevoeren op een rioolwaterzuiveringsinstallatie, waar het water wordt gezuiverd. Dit toevoeren kan gebeuren onder vrijval, waarbij gebruik wordt gemaakt van de gravitatiekracht of mechanisch, waarvoor pompen nodig zijn. Daarnaast is er een verschil tussen een gemengd rioleringsstelsel, dat regen- en afvalwater afvoert door dezelfde leiding en een gescheiden stelsel. In de laatste wordt een aparte buis voorzien voor het regenwater en het afvalwater. In het doelgebied ligt grotendeels een gemengd stelsel onder vrijval. Kleine gedeelten van het stelsel zijn uitgevoerd als gescheiden stelsel. In het stelsel zijn vier pompen aanwezig. Deze zorgen voor een goede werking van de mechanische delen van het stelsel.

Om te komen tot een schematische voorstelling van het stelsel binnen het zuiveringsgebied werd gebruik gemaakt van de riooldeelbekkenbenadering. Het voordeel van deze benadering is dat minder belangrijke details buiten het model gehouden kunnen worden. Een riooldeelbekken is een gedeelte van het rioleringsstelsel waarvan één of meerdere overstorten het hydraulische gedrag bepalen en waarvan de doorvoer wordt bepaald door één knijpconstructie. Een knijpconstructie is een structuur die het doorvoerdebiet beperkt en een overstort zorgt voor evacuatie van water naar een uitstroompunt of een ander deel van het stelsel. Door deze benadering te hanteren is het studiegebied te zien als hydraulisch afkoppelbaar van omliggende gebieden. Hierdoor kan de invloed van deze omliggende gebieden op het studiegebied teruggebracht worden tot een aantal randvoorwaarden.

Om te komen tot een model in InfoWorks-CS werd eerst het stelsel met zijn hydraulische structuren gedigitaliseerd. Dit werd grotendeels gedaan op basis van een reeds door de Antea Group opgestelde databank. Daarna werd het catchment opgebouwd, hieronder wordt de omgeving van het model verstaan. Tijdens de opbouw van het catchment werd bepaald welke oppervlaktes, zowel verhard als onverhard, toevoerden op het stelsel. Daarbij werd een indeling gemaakt in het soort oppervlakte door het toekennen van attributen aan het model. Hierbij werd onderscheid gemaakt naar oppervlaktetype, gebiedstype en type stelsel. Bijkomend werden nog attributen toegekend om het sedimentatiepeil in leidingen, het afkoppelingspercentage van bebouwing en de ruwheid van grachten te modelleren.

Om de invloed van omliggende gebieden op correcte wijze te modelleren werden randvoorwaarden opgelegd aan het model. Dit werd gedaan door terreindocumentaties te bekijken en een terreinbezoek te verrichten. Voor alle in- en uitlaten, dit zijn plaatsen waar afwateringskanalen aansluiten op de riolering of andersom, werd vervolgens het geconstateerde waterpeil ten tijde van de metingen en het maximale waterpeil in het model gebracht. De validatie van het model werd gedaan op basis van kwalitatieve gegevens. Hiervoor werden de gemeente, de brandweer, het Agentschap voor geografische informatie Vlaanderen en omwonenden gevraagd. Waar nodig werden kleine aanpassingen in het model aangebracht om de werkelijkheid beter te benaderen.

Tot slot werden er modelsimulaties uitgevoerd in InfoWorks-CS. De gebieden waar water op straat voorkwam bij een composietbui met een herhalingstijd van $T = 2$ jaar werden in kaart gebracht. Het

stelsel zou bij een dergelijke bui niet voor wateroverlast mogen zorgen. In het studiegebied bleek er echter negen plekken in het stelsel aanwezig waar wel wateroverlast voorkwam tijdens de simulaties. Er kan op basis van de kwalitatieve validatie met enige zekerheid gesteld worden dat deze plaatsen ook in de werkelijke situatie overlast zullen geven. De mate waarin de aangedragen oplossingen voldoen om de problemen op te lossen is onzeker. Om hier meer zekerheid over te verkrijgen zal aanvullend onderzoek moeten worden gedaan.

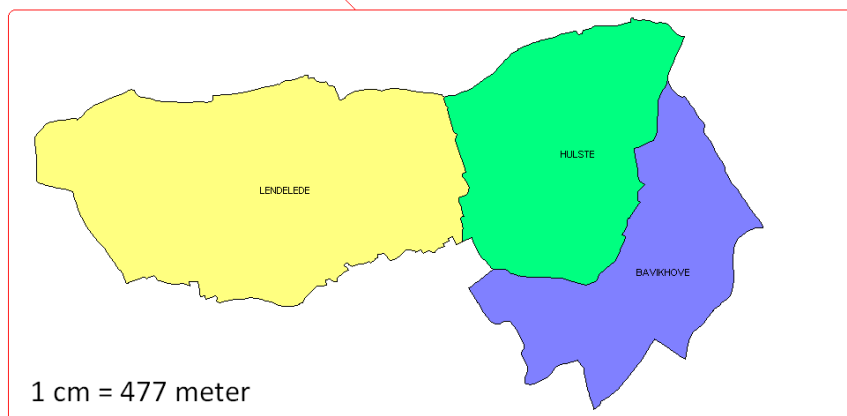
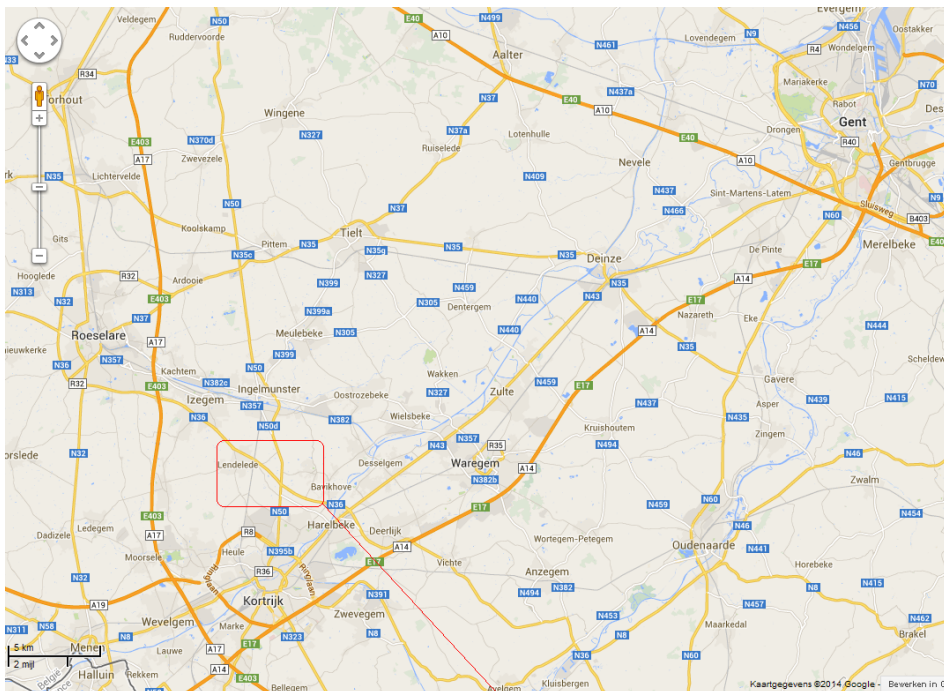
1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de aanleiding voor dit onderzoek uiteengezet in paragraaf 1.1. Vervolgens wordt de probleemstelling uitgelegd in paragraaf 1.2. In paragraaf 1.3 worden de doelstelling en de onderzoeksvragen gegeven, waarna in paragraaf 1.4 is uitgelegd welke methodologie zal worden gebruikt bij het uitvoeren van de opdracht. Tot slot wordt in paragraaf 1.5 een leeswijzer gegeven.

1.1 Aanleiding

In het zuiveringsgebied Beveren-Leie is Infrac momenteel rioolbeheerder. Infrac is een groot netbedrijf dat werkt met aardgas, elektriciteit, kabeltelevisie en riolering in België. De riolering in het zuiveringsgebied voldoet niet aan de eisen die door Infrac aan het stelsel worden gesteld. Daarom is het noodzakelijk om delen van het stelsel te vernieuwen. Hiervoor is het nodig om een rioolmodel op te stellen van de huidige toestand in het zuiveringsgebied. Dit moet Infrac in staat stellen om te achterhalen waar en wanneer er zich problemen voordoen met de huidige riolering.

De situering van het zuiveringsgebied Beveren-Leie is in figuur 1 weergegeven. Het zuiveringsgebied bestaat uit de twee gemeenten Lendeledede en Harelbeke. In Harelbeke bevinden zich twee deelgemeenten die behoren tot het studiegebied. Dit zijn Hulste en Bavikhove.



Figuur 1: Situering zuiveringsgebied Beveren-Leie met de drie deelgemeenten Lendeledede, Hulste en Bavikhove

1.2 Probleemstelling

In Vlaanderen werd vroeger vaak de keuze gemaakt om een gemengd rioleringsstelsel aan te leggen (De Rioolkrak, 2013). In de loop van de jaren zijn de Vlamingen er achter gekomen dat dit stelsel, dat afvalwater en regenwater door dezelfde leiding afvoert, nogal wat nadelen kent. Vandaar dat rioolstelsels die vanaf 1999 werden aangelegd voorzien moeten zijn van een gescheiden afvoer. Hierbij wordt het afvalwater en het regenwater in een aparte leiding afgevoerd.

In het zuiveringsgebied Beveren-Leie is nog grotendeels een gemengd stelsel aanwezig dat inmiddels verouderd is. De nadelen die hieraan kleven zijn dat rioolwaterzuiveringsinstallaties niet efficiënt kunnen zuiveren, aangezien het vuilwater is verdund met regenwater. Daarnaast is het regenwater, dat relatief schoon is, in principe nog goed bruikbaar. Hierbij kan gedacht worden aan gebruik voor wc's of wasmachines, in de tuin of voor het dweilen van de vloer (De Watergroep, 2013). Bij een gemengd stelsel gaat dit water verloren in het zuiveringsproces.

Het grootste probleem is momenteel dat de capaciteit van het gemengde stelsel in het zuiveringsgebied ontoereikend is. Hierdoor komt er regelmatig wateroverlast voor op straat. Het onderstaande krantenartikel uit 2007 (Nieuwsblad, 2007) en deze nieuwsmelding uit 2013 (Belgische Radio Unie, 2013) bevestigen dit.

Plaatselijk onweer veroorzaakt wateroverlast

MAANDAG 11 JUNI 2007

HULSTE - Een wolkbreuk veroorzaakte grote wateroverlast zaterdagavond omstreeks half negen in de Blauwhuisstraat in Hulste. De brandweer van Harelbeke kwam ter plaatse om de bewoners te helpen en het water weg te pompen. De situatie verbeterde vlug toen het onweer voorbij was. Een aantal mensen hadden heel wat schrobwerk voor de boeg. Het onweer was plaatselijk. (vkk)

Regio Kortrijk: Hevige regenval zorgt voor wateroverlast

vrijdag, 26 juli 2013 20:59

Op diverse plaatsen in de hulpverleningszone Fluvia ontstonden vrijdagavond nadat een hevige regenzone was overgetrokken problemen door overtollig water. Vooral slechtwerkende riolen lagen daarbij vaak aan de basis. In Wevelgem rukte de brandweer ondermeer uit naar de Roeselare- en Marktstraat gezien beide straten in een mum van tijd blank stonden. De brandweer van Wevelgem zette meteen de grote middelen in om het overtollige water uit beide straten te pompen zodat dit niet kon binnen dringen in de woningen van beide straten. Ook op het kruispunt van de R8 met de Brugsesteenweg in Kuurne ontstonden eveneens door een toegeslipte riolering problemen met de afvoer van het water zodat een deel van het kruispunt onder water kwam te staan. Daarnaast waren er ook nog in de Vichestraat in Deerlijk, de Rodenbachlaan in Gullegem, de Haantjesstraat in Waregem, de Blommestraat in Beveren - Leie en de Noord - en Graaf Van Vlaanderenstraat in Menen problemen met het water. Ook in Harelbeke kampten twee woningen met wateroverlast.



Figuur 2: Wateroverlast in de regio Kortrijk op 26 juli 2013

Aangezien het vaak om een gemengd stelsel gaat in het studiegebied, zal met water op straat ook geuroverlast gepaard gaan. De aanleg van een gescheiden stelsel met toereikende capaciteit kan hierin mogelijk oplossing bieden.

1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van deze opdracht betreft het opstellen van een gevalideerd en accuraat rioolmodel van de bestaande toestand voor het zuiveringsgebied Beveren-Leie in het programma InfoWorks-CS. Dit model moet simulaties kunnen uitvoeren, waarmee knelpunten in het stelsel kunnen worden geïdentificeerd en beschreven. Met knelpunten worden hier die plaatsen bedoeld waar het systeem niet optimaal werkt, waardoor overlast ontstaat. Integraal onderdeel van de doelstelling is daarnaast het schrijven van een rapport met betrekking tot de uitvoering van deze opdracht.

De hoofdvraag voor de opdracht is: welke knelpunten kent het rioleringsstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie en hoe kunnen deze opgelost worden?

De hoofdvraag is uit te splitsen in de onderstaande deelvragen:

1. Hoe werkt de riolering in het zuiveringsgebied Beveren-Leie en hoe kan deze schematisch worden voorgesteld?
2. Hoe wordt gekomen tot de gewenste modeloutput?
3. Welke methode wordt gebruikt om te zorgen dat het model overeenkomt met de werkelijkheid?

1.4 Methodologie

De methodes die worden gebruikt bij het uitvoeren van de opdracht zijn kort toegelicht in deze paragraaf.

Bij het uitvoeren van de opdracht zal gebruik worden gemaakt van de riooldeelbekkenbenadering. In deze benadering wordt het rioolstelsel gezien als een aaneenschakeling van riooldeelbekkens. Deze bekkens zijn gedeelten van het rioleringsstelsel waarvan het hydraulisch gedrag wordt bepaald door één of meerdere overstorten en waarvan de doorvoer wordt bepaald door één knijpconstructie. Overstorten zijn structuren die bestaan uit één of meer drempels die bij een te hoge waterstand zorgen voor evacuatie van water. Knijpconstructies zorgen ervoor dat er een beperkte doorstroom kan plaatsvinden. Uiteindelijk zal op basis van de riooldeelbekkenbenadering een schematische voorstelling worden gemaakt van het zuiveringsgebied Beveren-Leie, welke inzicht verschaft in de structuur en globale werking van het stelsel.

De modelopzet zal gestart worden vanuit een reeds door de Antea Group zelf opgemaakte databank. In de databank is eigenlijk een digitale weergave te vinden van het rioleringsstelsel in het

zuiveringsgebied Beveren-Leie. Structuren die hydraulisch niet van belang zijn moeten echter nog uit het model worden verwijderd en ontbrekende gegevens moeten worden aangevuld. Daarnaast zullen alle hydraulische structuren moeten worden nagekeken en waar nodig aangepast om te komen tot een hydraulisch correcte weergave van het rioleringsstelsel.

Nadat het stelsel gedigitaliseerd is zal het catchment worden opgebouwd, hiermee wordt de omgeving van het model bedoeld. Zo wordt in deze fase bepaald welke verharde en onverharde oppervlakten afvoeren op het rioleringsstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie. Dit zal worden gedaan door het intekenen van subcatchments en het toekennen van attributen die het oppervlaktetype definiëren. Vervolgens zal de oppervlakte aan de rioolstelsels worden toegekend door het uitvoeren van de area take off procedure.

Doordat gebruikt gemaakt wordt van de riooldeelbekkenbenadering is de invloed van omgelegen riooldeelbekkens terug te brengen tot randvoorwaarden. Op alle plaatsen in het stelsel waar instroom of uitstroom aanwezig is zal het huidige en maximale waterpeil worden geïnventariseerd en ingebracht in het model. Op die manier wordt rekening gehouden met omgelegen gebieden zonder dat deze volledig gemodelleerd moeten worden.

Na het opleggen van de randvoorwaarden zal er een kwalitatieve validatie plaatsvinden. Er zullen simulaties worden uitgevoerd met composietbuien die een herhalingstijd hebben van $T = 2, 5, 10$ en 20 jaar. De resultaten die tijdens de simulaties worden verkregen zullen vervolgens worden vergeleken met de werkelijke situatie aan de hand van informatie verkregen van de gemeente, de brandweer, het Agentschap voor geografische informatie Vlaanderen en omwonenden. Op die manier wordt het model kwalitatief getoetst aan de werkelijkheid.

Als de validatie heeft plaatsgevonden kan beoordeeld worden in hoeverre de riolering voldoet aan de gestelde eisen. Conclusies worden getrokken op basis van simulaties met een composietbui die een herhalingstijd heeft van $T = 2$ jaar. Plaatsen waar bij een dergelijke bui water op straat voorkomt worden als overlast beschouwd, hetgeen overeenkomt met de richtlijnen die zijn gegeven in de Code van goede Praktijk. Op de plaatsen waar overlast ontstaat zal vervolgens getracht worden de oorzaak van de problemen te achterhalen en daarnaast een oplossing te geven om de problemen te verhelpen. Het daadwerkelijk testen van deze oplossingen zal vervolgens in een andere studie worden uitgevoerd en valt dus niet meer binnen deze opdracht.

1.5 Leeswijzer

Na de inleiding in hoofdstuk 1 volgt in hoofdstuk 2 de theorie die aan de basis ligt voor het uitvoeren van deze opdracht. Ook wordt in dit hoofdstuk aandacht besteedt aan de werking van het rioolstelsel in het zuiveringsgebied. De methodologie die is gebruikt bij het uitvoeren van de opdracht is omschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens inzichtelijk gemaakt hoe is gekomen tot de randvoorwaarden voor het model, waarna in hoofdstuk 5 wordt toegelicht hoe het model is gevalideerd. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de simulaties besproken. De discussie staat in hoofdstuk 7 en de conclusie en aanbevelingen zijn terug te vinden in hoofdstuk 8.

2 Theorie

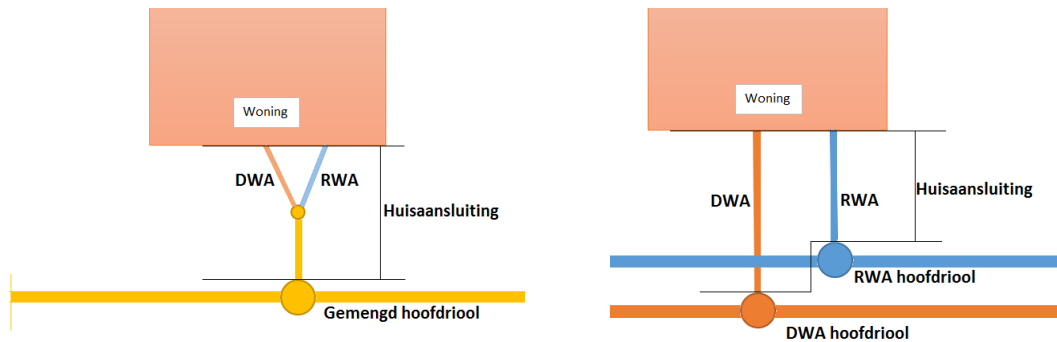
In dit hoofdstuk is de theorie besproken die wordt gebruikt tijdens deze opdracht. Ook wordt duidelijk hoe het rioolstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie werkt en hoe deze schematisch kan worden voorgesteld. In paragraaf 2.1 zal de algemene theorie betreffende riolering worden besproken, waarna in paragraaf 2.2 de theorie zal volgen die specifiek verband houdt met het programma InfoWorks-CS. Tot slot zal het opgestelde riooldeelbekkenschema voor het studiegebied worden weergegeven in paragraaf 2.3.

2.1 Algemene theorie riolering

Een riolering wordt aangelegd voor het opvangen en transporteren van afval- en regenwater en bestaat tegenwoordig vrijwel altijd uit openbare, ondergrondse leidingen met de bijbehorende structuren. Dit ondergrondse stelsel zal uiteindelijk toevoeren naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie, hierna RWZI, alwaar het vuile water kan worden gezuiverd. Dit toevoeren kan gebeuren met behulp van een vrijval riolering en/of een mechanische riolering (Vereniging van producenten van betonleidingsystemen, 2008). De vrijval riolering ligt onder een helling in de grond, waardoor afwatering met behulp van gravitatie gebeurt. Bij een mechanische riolering zijn er pompen in het stelsel aanwezig, vaak in combinatie met persleidingen. Deze maken het mogelijk om het afval- en regenwater in tegenhelling af te voeren. Vaak is er bij grotere stelsels sprake van een mengeling tussen beide systemen. Dit is ook het geval in zuiveringsgebied Beveren-Leie, waarbij grote gedeelten van het systeem zijn uitgevoerd als vrijval riolering en kleine gedeelten als mechanische riolering.

Naast onderscheid tussen vrijval en mechanische riolering kan een indeling worden gemaakt tussen gemengde en gescheiden stelsels. In het gemengde stelsel wordt afval- en regenwater opgevangen en getransporteerd in dezelfde leiding. In een gescheiden stelsel is er sprake van een scheiding tussen een regenwater- en een afvalwaterleiding. Hierbij wordt de regenwaterleiding aangeduid met de term RWA, hetgeen staat voor regenwaterafvoer. Strikt gezien zal het echter gaan om hemelwaterafvoer, aangezien ook sneeuw en hagel door deze leidingen worden afgevoerd. De afvalwaterleiding wordt DWA genoemd, hetgeen staat voor droogweerafvoer. Onder afvalwater wordt water geschaard dat vervuilingen bevat, bijvoorbeeld water afkomstig van wc's, wastafels of douches. In het zuiveringsgebied Beveren-Leie is grotendeels sprake van een gemengd stelsel. Een aantal kleinere gedeelten van het stelsel, vaak nieuwe verkaveling, zijn gescheiden uitgevoerd.

In België is 86 procent van de bevolking aangesloten op de riolering (Stichting RIONED, 2009). De aansluiting van woningen op het rioolstelsel wordt gemaakt via een huisaansluiting. Het gaat dan altijd om twee huisaansluitpunten, alleen is de wijze van aansluiting afhankelijk van het rioleringssysteem (Infrac, 2014). Wanneer er sprake is van een gemengd stelsel, zullen de huisaansluitingen op dezelfde hoofdleiding aansluiten. Meestal gebeurt dit door de huisaansluitpunten direct bij elkaar te laten komen en vervolgens één leiding aan te sluiten op het hoofdriool. Bij een gescheiden stelsel zullen er twee huisaansluitingsleidingen worden voorzien, één op het RWA-riool en één op het DWA-riool. Een illustratie van beide systemen is gegeven in figuur 3.

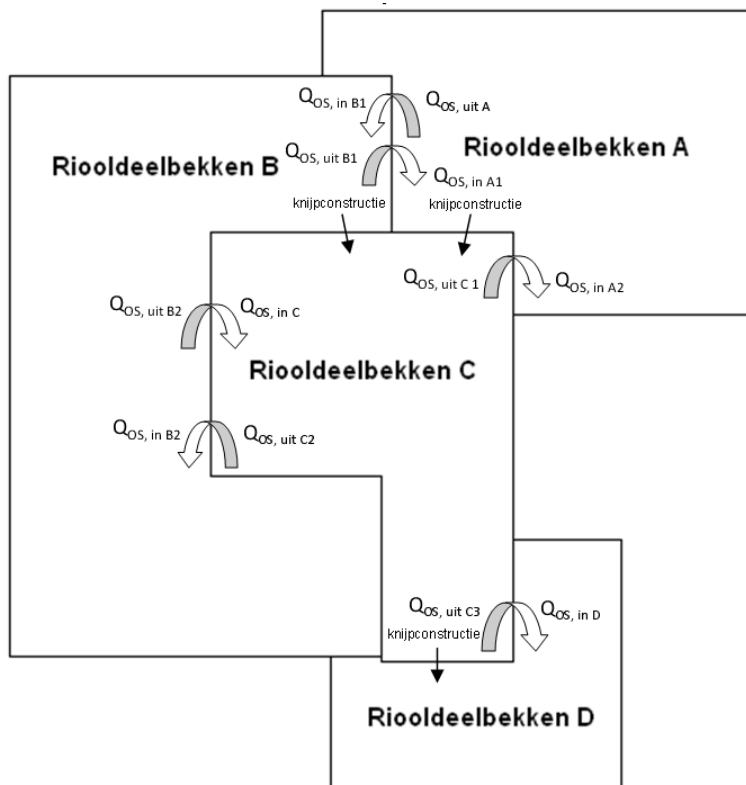


Figuur 3: Huisaansluiting op een gemengd stelsel en op een gescheiden stelsel

2.2 Specifieke theorie

Bij de uitvoering van deze opdracht zal gebruik gemaakt worden van de riooldeelbekkenbenadering (Aquafin, 2013). Deze benadering komt overeen met de stroomgebiedsbenadering. Het is een versimpelde voorstelling van de werkelijkheid, waarbij de minder belangrijke details buiten het model worden gehouden. Uiteindelijk wordt het rioolstelsel in deze benadering gezien als een aaneenschakeling van riooldeelbekkens, ook wel overstortbakken genoemd. Een riooldeelbekken is een gedeelte van het rioleringsstelsel waarvan één of meerdere overstorten het hydraulische gedrag bepalen en waarvan de doorvoer wordt bepaald door één knijpconstructie. Met een overstort worden alle constructies bedoeld die één of meer drempels bevatten, die ten tijde van een stijgend waterpeil zorgen voor evacuatie van water naar een lozingspunt of een ander deel van het rioleringsstelsel. Een knijpconstructie is een constructie met een debietsbeperkende werking.

De schematische werking van meerdere riooldeelbekkens is weergegeven in figuur 4. In deze weergave zijn vier bekken opgenomen, waarvan D het meest afwaartse bekken vormt.



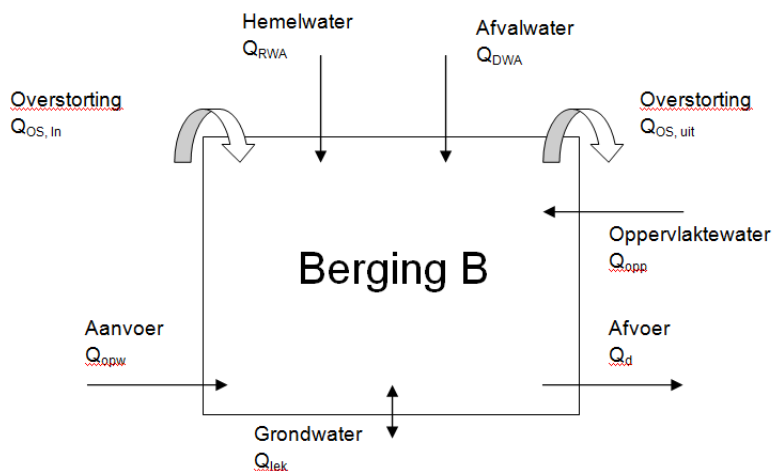
Figuur 4: Schematische voorstelling van meerdere riooldeelbekkens en de onderlinge samenhang hiertussen

Zoals te zien bevat elke overstortbak één knijpconstructie die het debiet richting stroomafwaarts gelegen riooldeelbekkens begrensd. Daarnaast is te zien dat deelbekkens meerdere overstorten kunnen bevatten, waarbij deze afhankelijk van de omstandigheden in werking zullen treden. In dit geval heeft riooldeelbekken C bijvoorbeeld drie uitgaande overstorten, naar bekken A, B en D en één ingaande overstort, namelijk die vanuit bekken B. De overstorten bevinden dus niet noodzakelijk bij de knijpconstructie.

Om duidelijk te maken welke grootheden een kenmerkende rol spelen bij overstortbakken, zal hieronder één losstaand bekken met zijn kenmerkende grootheden worden omschreven. De onderstaande grootheden spelen een rol:

- Q_d = Afvoer uit het riooldeelbekken (m^3/s)
- Q_{opw} = Aanvoer vanuit opwaartse riooldeelbekkens (m^3/s)
- Q_{DWA} = Aanvoer van afvalwater (m^3/s)
- Q_{RWA} = Aanvoer van regenwater (m^3/s)
- Q_{opp} = Instroming van oppervlaktewater (m^3/s)
- Q_{lek} = Instroming van grondwater (m^3/s)
- $Q_{OS, uit}$ = Overstort die het riooldeelbekken uitgaat (m^3/s)
- $Q_{OS, in}$ = Overstort die het riooldeelbekken in komt (m^3/s)
- B = Bergingsvolume (m^3)

Wanneer dit wordt weergegeven in een figuur, levert dit onderstaande voorstelling op.



Figuur 5: Riooldeelbekkenbenadering

Door de riooldeelbekkenbenadering te hanteren is het mogelijk om voor elke overstortbak een waterbalans op te stellen. Bovendien kan er rekening gehouden worden met verschillende situaties door grootheden uit het model te laten. Zo kan droogweerafvoer zonder overstortwerking eenvoudig worden voorgesteld door het weglaten van de regenwaterafvoer en de overstort die het riooldeelbekken inkomt en uitgaat.

Het opstellen van waterbalansen zorgt er ook voor dat het globale hydraulische gedrag van doorvoerconstructies gevalideerd kan worden en dat belangrijke basisgrootheden toetsbaar zijn.

Terminologie

Bij het opstellen van het model in InfoWorks-CS is het nodig om begrip te hebben van de vaktermen die worden gebruikt. Zonder begrip van deze termen is het onmogelijk een goed werkend model op

te stellen. Aangezien deze termen regelmatig zullen terugkomen in het verslag, zijn deze hieronder uiteengezet. Achter de begrippen is de betekenis van de verschillende termen toegelicht.

Waterlopen: alle afwateringskanalen voor oppervlaktewater, boven- en ondergronds, die zijn vastgelegd in de Vlaamse Hydrologische Atlas.

Grachten: bovengrondse afwateringskanalen voor lokale afvoer van regen- en/of grondwater (uitgezonderd waterlopen). Grachten kunnen over kleinere afstanden zijn ingebuisd om passeren te vergemakkelijken, maar behoren daarmee niet tot de riolering.

Inlaat: plek waar een bovengronds afwateringskanaal op de riolering aansluit.

Uitlaat: plek waar de riolering aansluit op een bovengronds afwateringskanaal.

Lozingspunt: uitlaat waarop minimaal tien huisaansluitingen voor afvalwater zijn aangesloten.

Hydraulische structuren: Kunstwerken die in de riolering aanwezig zijn. De volgende hydraulische structuren zullen veelvuldig terugkomen:

Pompstations: structuren die zorgen voor het verpompen van in de riolering aanwezig water.

Er zijn een aantal verschillende soorten pompen die voorkomen in deze studie:

- *Vijzelpompen*: pompen waarvan de werking hydraulisch gezien slechts afhankelijk is van het waterpeil opwaarts van de pomp. Het stroomafwaartse waterpeil is hierbij dus niet van belang voor de grootte van het verpompte debiet.
- *Centrifugaalpompen met persleiding*: zowel de pompkarakteristiek als de leidingkarakteristiek spelen een rol bij de werking van deze pomp. In principe wordt de pompkarakteristiek bepaald door de opvoerhoogte. Dit is het verschil in drukhoogte tussen op- en afwaarts waterpeil. De leidingkarakteristiek wordt bepaald door de ruwheid van de leiding en door lokale verliezen.
- *Centrifugaalpompen zonder persleiding*: hierbij wordt de werking uitsluitend bepaald door de pompkarakteristiek. Deze wordt in de basis vastgelegd door de opvoerhoogte.
- *Frequentie gestuurde pompen*: zijn centrifugaalpompen waarbij het toerental van de pomp gestuurd kan worden om andere parameters constant te houden.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de werking van de verschillende pompstructuren wordt doorverwezen naar Bijlage A: Werking pompen.

Knijpconstructies: deze structuren zorgen voor een beperking in het doorvoerdebiet. Er bestaan verschillende knijpconstructies:

- *Knijpopeningen*: de meest simpele vorm van een knijpconstructie. Het betreft hier een vastliggende structuur die zorgt voor een verkleining in doorstroomoppervlak.
- *Schuiven*: verstelbare constructies waarmee de verkleining in doorstroomoppervlak geregeld kan worden.
- *Wervelventielen*: een constructie die het doorvoerdebiet al vanaf kleine waterhoogtes zo constant mogelijk beperkt. Door de vorm van de constructie worden cycloonvormige waterstromingspatronen gecreëerd.
- *Hydroslides*: werken via een vlottermechanisme om een debietsbeperking te bewerkstelligen.

De werking van bovenstaande knijpconstructies is uitvoeriger beschreven in Bijlage B: Knijpconstructies.

Terugslagkleppen: zorgen ervoor dat het debiet slechts in één richting wordt doorgelaten.

Overstorten: alle constructies die één of meer drempels bevatten, die ten tijde van een stijgend waterpeil zorgen voor evacuatie van water naar een lozingspunt of een ander deel van het rioleringsstelsel.

Een uitgebreidere uitleg van de werking van terugslagkleppen en overstorten is terug te vinden in Bijlage C: Overstorten en terugslagkleppen.

Reservoirs: alle voorzieningen die het mogelijk maken tijdelijk afvoerwater te bufferen.

Riooldeelbekken: een gedeelte van het rioleringsstelsel waarvan één of meerdere overstorten het hydraulische gedrag bepalen en waarvan de doorvoer wordt bepaald door één knijpconstructie.

Knoop: hieronder worden alle belangrijke inspectieputten verstaan en alle hydraulische structuren. Inspectieputten zijn belangrijk wanneer deze hydraulisch relevant zijn voor het model. Dit is het geval wanneer in een inspectieput:

- Meerdere inkomende leidingen samenkomen
- Meerdere uitgaande leidingen aanwezig zijn
- Een diameterovergang aanwezig is tussen in- en uitgaande leiding
- Een significant verval aanwezig is tussen in- en uitgaande leiding (minimaal twintig centimeter)
- Meetinstrumenten worden geïnstalleerd ten behoeve van de modelvalidatie.
- Het hydraulische gedrag van onder druk stromende leidingen mede wordt bepaald door een lokale terreindepressie

Kamer: knopen kunnen kamers bevatten. Dit zijn ondergronds delen van de rioleringsinfrastructuur die zijn afgesloten van overige delen door hydraulische structuren, zoals terugslagkleppen, roosters of schuiven. Vaak dienen deze kamers ter buffering van water of om de doorvoer van water te vertragen.

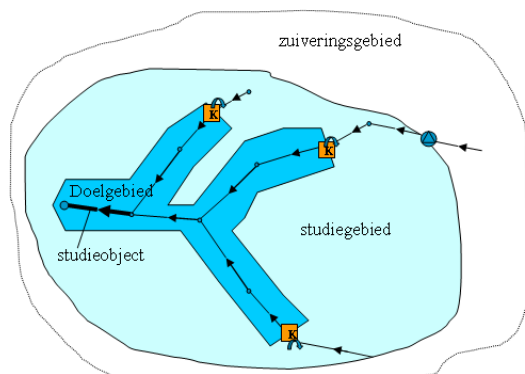
Zuiveringsgebied: gebied waarin één zuiveringsinstallatie zorgt voor de zuivering van afvalwater.

Studiegebied: de zone rondom het studieobject die hydraulisch afkoppelbaar is. Meer specifiek houdt dit in dat de invloed van riooldeelbekkens op elkaar kan worden gezien als een randvoorwaarde die onafhankelijk is van het gedrag van het boven- dan wel benedenstroomse riooldeelbekkens.

Studieobject: het specifieke object dat onderwerp is van de studie, ofwel het rioleringsstelsel.

Doelgebied: het gebied dat onderwerp is van de studie. Eigenlijk zijn het alle riooldeelbekkens waarin het studieobject zich bevindt.

Ter verduidelijking van de relatie tussen de begrippen zuiveringsgebied, studiegebied, studieobject en doelgebied kan figuur 6 worden geraadpleegd.









Figuur 6: Relatie tussen zuiveringsgebied, studiegebied, studieobject en doelgebied

3 Riooldeelbekkenschema

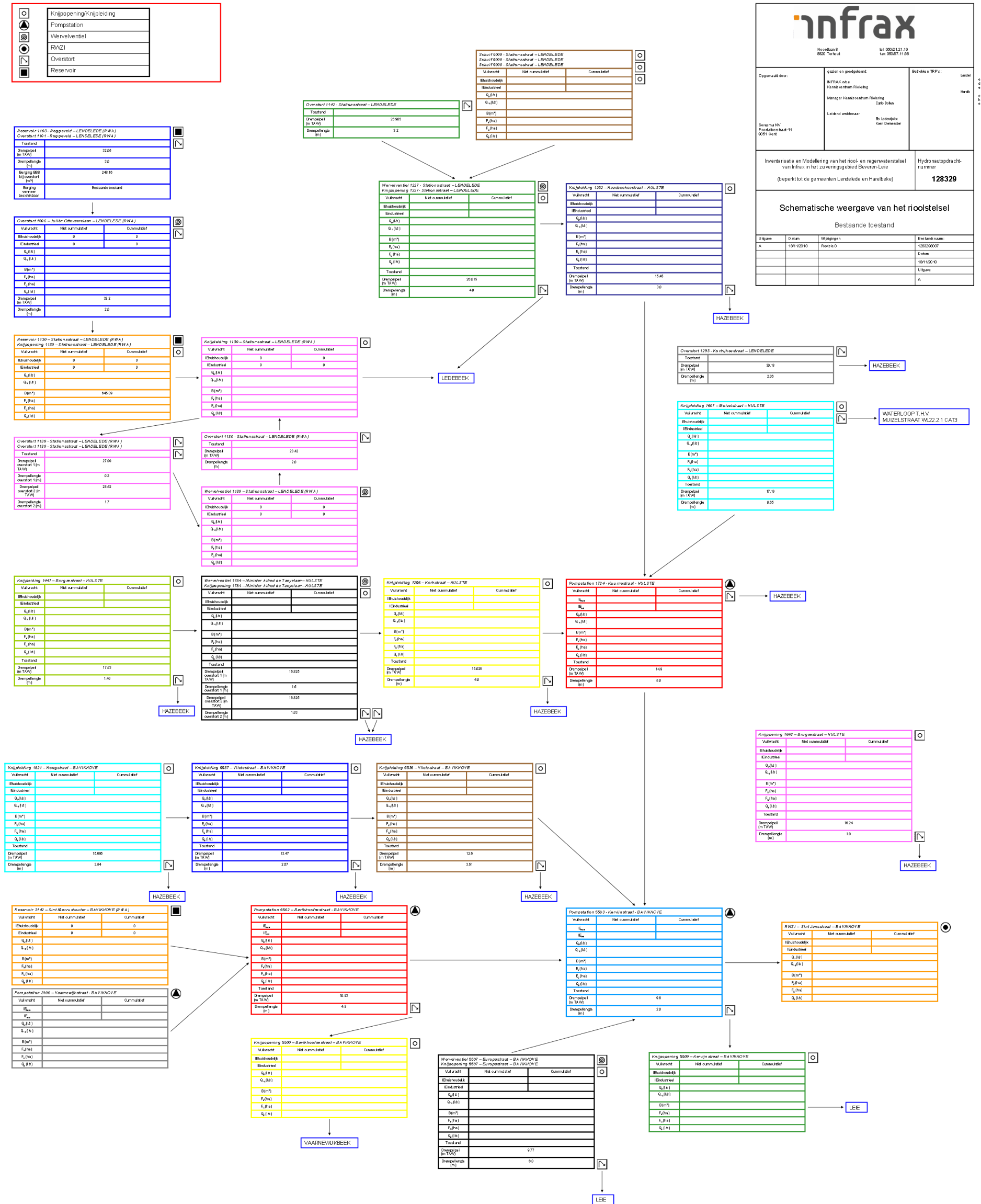
Aan de hand van de theorie die in het voorgaande hoofdstuk is besproken kan er een riooldeelbekkenschema worden opgesteld voor het zuiveringsgebied Beveren-Leie. Het rioolstelsel wordt daarin weergegeven als een aaneenschakeling van deelbekkens, waardoor een beter inzicht kan worden verkregen in de structuur en globale werking van het stelsel.

Zoals reeds vermeld worden riooldeelbekkens begrensd door knijpconstructies die een bepaald doorvoerdebiet hebben naar een afwaarts riooldeelbekken. De onderstaande symbolen worden in de schematische voorstelling gebruikt om constructies aan te duiden.

	knijpopening/knijpleiding		RWZI
	pompstation		overstort
	wervelventiel		reservoir

Figuur 7: Gebruikte symbolen om constructies te definiëren in de schematische voorstelling

Het zuiveringsgebied werd opgedeeld in 24 riooldeelbekkens inclusief regenwaterafvoer en 20 overstortbakken zonder regenwaterafvoer. De schematische voorstelling, inclusief regenwaterafvoer, is opgenomen op de volgende pagina. De onderling verbonden vakken in dezelfde kleur stellen telkens één deelbekken voor.



Figuur 8: Schematisch overzicht zuiveringsgebied Beveren-Leie

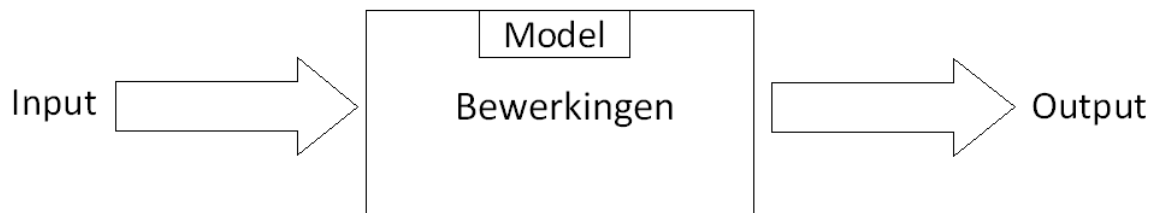
In het zuiveringgebied bevinden zich vier pompstations. Deze zijn grotendeels bepalend voor de werking van het gehele stelsel. Uiteindelijk wordt het water via een pompstation naar een RWZI gepompt, zodat het daar gezuiverd kan worden. De overige structuren zijn ook terug te vinden in bovenstaande schematische voorstelling.

4 Modelopzet

In dit hoofdstuk is besproken welke methode gebruikt zal worden bij het opstellen van het model. Deze modelopzet zal uiteindelijk de gewenste output moeten opleveren.

Modelinput

Bij het opstellen van een model is altijd een zekere input nodig om output te kunnen genereren. Het model zal daarnaast bewerkingen moeten uitvoeren om die output te verkrijgen. Schematisch is dit weer te geven zoals afgebeeld in figuur 9.



Figuur 9: Schematische werking model

De input die zal worden ingebracht in het model voor het zuiveringsgebied Beveren-Leie is hieronder uiteengezet. Tussendoor is ook uitleg opgenomen over de bewerkingen die InfoWorks-CS zal uitvoeren om bepaalde gegevens te verkrijgen. De uiteindelijk verkregen output zal besproken worden in Hoofdstuk 6: Resultaten.

Gebied digitaliseren

Begonnen wordt met het ingeven van het stelsel in de ruimte. Deze wordt eigenlijk driedimensionaal in het model gebracht. Dit betekent dat er attributen worden toegekend aan de knopen en leidingen, zoals lengte van de leidingen, opwaarts leidingpeil, afwaarts leidingpeil, grootte van de kamer, het schachtoppervlak van de put enz. Op die manier wordt een realistisch beeld verkregen van de riolering zoals deze ten tijde van de metingen aanwezig was. Naast het rioolstelsel worden ook de maaiveldpeilen ter hoogte van het stelsel ingebracht. Op die manier wordt het gebied eigenlijk digitaal gemaakt.

Voor een groot gedeelte wordt deze informatie overgenomen uit een reeds opgestelde databank. Deze databank werd opgesteld door de Antea Group zelf en is goedgekeurd door de opdrachtgever. De databank zal echter volledig gecontroleerd moeten worden, aangezien deze puur gebaseerd is op de verkregen waarden tijdens metingen. Hydraulisch irrelevante structuren moeten uit het model worden verwijderd en ontbrekende gegevens moeten worden aangevuld. Zo moet uiteindelijk worden gekomen tot een volledig digitaal rioleringsstelsel.

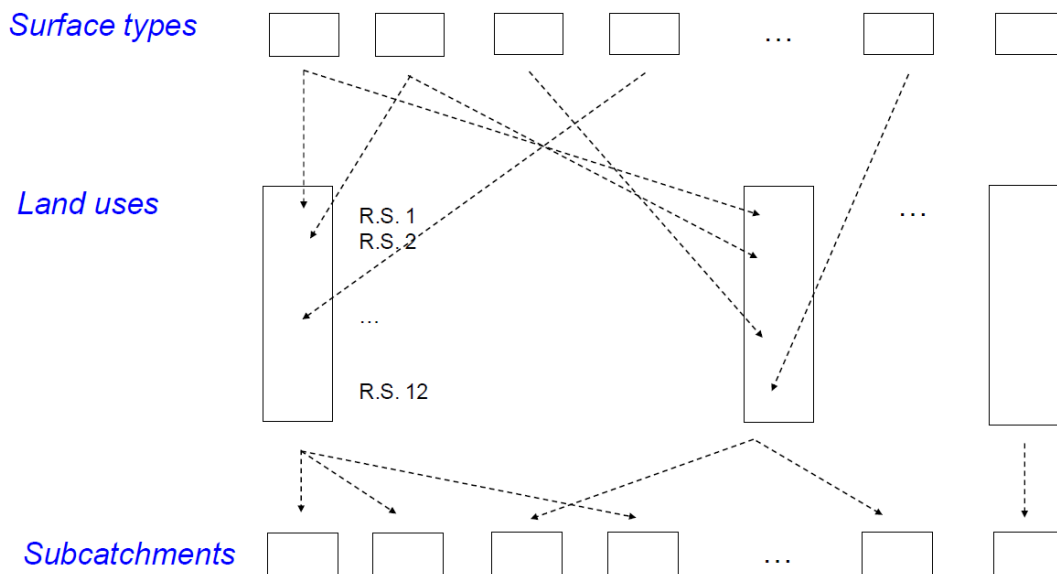
Een belangrijk onderdeel van het digitaliseren van het stelsel is de invoer van hydraulische structuren. Deze structuren, zoals pompen, overstorten en knijpconstructies zijn van cruciaal belang voor de werking van het stelsel. Het is daarom erg belangrijk om de structuren op de juiste wijze in het model te brengen. Een voorbeeld van hoe een dergelijke structuur wordt ingebracht in het model is toegelicht in Bijlage D: Inbrengen van constructies. Aangezien dit onderdeel zo belangrijk is zullen alle hydraulische structuren in de databank nagekeken moeten worden en waar nodig aangepast.

Opbouwen catchment

Nadat het gebied is gedigitaliseerd wordt begonnen met het opbouwen van de "catchment" van het model. Hiermee wordt de omgeving bedoeld waarin het model gelegen is. Tijdens het toevoegen van

de catchment wordt bepaald welke oppervlakten toevoeren op de riolering en welke effectief aangesloten zijn op de riolering. Dit wordt gedaan voor zowel verharde als onverharde gebieden. Deze fase bepaald in grote mate de resultaten die met het model gegenereerd zullen worden.

Aan het inbrengen van de catchment liggen de volgende stappen ten grondslag. In InfoWorks-CS worden oppervlaktes in eerste instantie aangeduid als oppervlaktetype, in de software aangeduid met 'runoff surface type'. Vervolgens worden de oppervlaktes verder ingedeeld als gebiedstype, ofwel 'land use'. Pas daarna worden de oppervlaktes toegedeeld aan de leidingen of knopen in de vorm van 'subcatchments'. Schematisch is dit weer te geven zoals getoond in figuur 10.



Figuur 10: Het aanduiden van oppervlaktetypes gebeurt door het achtereenvolgens specificeren van het surface type, de land use en het subcatchment

Runoff surface type

Het runoff surface type is de basisbeschrijving van een oppervlaktetype. InfoWorks-CS kent een aantal standaard types welke in de tabel hieronder zijn toegelicht.

Tabel 1: Betekenis surface ID's betreffende runoff surface type

Surface ID	Betekenis in model
110	Straatoppervlakten
130	Dakoppervlakten
190	Open bekkens
199	Niet bijdragend onverhard

Naast deze standaardtypes zijn er nog afwijkende types, die afhankelijk van de situatie moeten worden ingevuld. Zo wordt er voor onverharde gebieden surface ID's van 150-189 gebruikt, welke allen weer een ander betekenis hebben. Hier zal nu echter niet verder op worden ingegaan.

Land use

De land use vormt de schakel tussen het runoff surface type en het subcatchment. Ook hiervoor zijn weer een aantal standaardtypes in InfoWorks-CS voorzien, welke in de tabel hieronder zijn weergegeven.

Tabel 2: Betekenis land use indices betreffende land use

Land use index	Betekenis in model
100	Standaard gemengde stelsels
400	Standaard 2DWA-stelsels zonder restoppervlakte
500	Standaard 2DWA-stelsels met restoppervlakte
600	Standaard RWA-stelsels

Ook hier zijn afwijkende land use types beschikbaar, echter zijn deze niet van belang om de werking van het model te begrijpen.

Subcatchments

Subcatchments zijn vervolgens de polygonen die worden ingetekend in het model om aan te geven welke gebieden afwateren naar welke knoop in het stelsel. Woningen zijn aangesloten op het hoofdriool door middel van een huisaansluiting. Daarom worden deze altijd volledig binnen een subcatchment getekend. Voor bedrijven is de wijze waarop zij aansluiten op de riolering niet zeker. Vandaar worden alle bedrijven in het gebied geïnventariseerd en aangeschreven. Een voorbeeld van hoe dit werd gedaan is weergegeven in Bijlage E: Bevraging bedrijven.

Aan de subcatchments wordt vervolgens een 'system type' toegekend. Hiervoor zijn drie opties aanwezig, combined, foul en storm. Zo geeft dit system type aan op welk type stelsel het subcatchment aansluit; een gemengd, een vuilwater of een regenwaterstelsel.

Vervolgens zal aan elk subcatchment één land use index worden toegekend. Bij een standaard gemengd stelsel zal bijvoorbeeld worden ingevuld: system type = combined en land use index = 100. Nadat dit is ingevuld zijn er nog meerder opties mogelijk met betrekking tot de runoff surface types binnen het subcatchment. Zo kan er in het hiervoor aangehaalde subcatchment bijvoorbeeld een hoeveelheid straatoppervlak, dakoppervlak en niet bijdragend onverhard oppervlak gelegen zijn. Om dit te berekenen wordt de area take off procedure uitgevoerd.

Bewerking: area take off

Hieronder zal kort worden uitgelegd hoe de area take off procedure in zijn werk gaat.

Er wordt een berekening gemaakt op basis van de achtergrondkaart in het model. Deze kaart wordt gemaakt in ArcMap. Hier worden oppervlaktepolygonen ingetekend om daar vervolgens attributen aan toe te kennen die definiëren of het gaat om straatoppervlak, dakoppervlak, afstromend onverhard enz. Vervolgens wordt deze kaart ingeladen in InfoWorks-CS, alwaar de oppervlaktepolygonen worden omgezet naar polygon objecten. Daarna worden grote straatoppervlakten opgesplitst aan de hand van gedefinieerde storm subcatchments, zodat grote aaneensluitende straatpolygonen verschillend gecodeerd kunnen worden. Vervolgens zal het programma kunnen bepalen welke runoff surface types binnen de subcatchments aanwezig zijn en hoe groot deze oppervlaktes zijn.

Overige invoer

Naast deze voorgaande invoer, die als het meest belangrijk kan worden gezien, wordt er nog meer input in het model gestopt. Zo wordt bij storm subcatchments een attribuut gegeven dat bekend staat als 'user number 5' in InfoWorks. Dit attribuut definieert in hoeverre de straten en huizen in het

storm subcatchment zijn afgekoppeld. De waarden die kunnen worden ingegeven in de software en de betekenis van deze waarden is in tabel 3 toegelicht.

Tabel 3: betekenis nummering in het veld user number 5

User number 5	Omschrijving	% dak afgekoppeld	% straat afgekoppeld
100	Semi gescheiden stelsel	0	100
110	10 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	10	100
120	20 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	20	100
130	30 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	30	100
140	40 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	40	100
150	Half gescheiden stelsel	50	100
160	60 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	60	100
170	70 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	70	100
180	80 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	80	100
190	90 % van de dakoppervlakte afgekoppeld	90	100
200	Volledig gescheiden stelsel	100	100
800	Onverhard afstromend (100 % RWA)	Nvt	Nvt

Bovenstaande waarden zijn belangrijk om te definiëren welk percentage van het dakoppervlak binnen het storm subcatchment ingerekend moet worden door het model. Zo is er bij gesloten bebouwing vaak sprake van een afkoppeling van de voorste dakhelft. Bij subcatchments waarin deze gesloten bebouwing is gelegen, moet dus 150 worden ingevuld als user number 5.

In de leidingen en putten kan sprake zijn van sedimentvorming. Wanneer hier sprake van is, zal de leidingcapaciteit afnemen. Omdat de invloed hiervan aanzienlijk kan zijn, wordt de sedimentvorming ook in het model gebracht. Dit wordt gedaan aan de hand van de hoeveelheid sediment die is gemeten in de putten. In principe werd in alle knopen een meting uitgevoerd van de sedimentatiediepte, waarbij alle toekomstige en uitgaande leidingen apart werden bemeaten. Aan de hand van deze gegevens is in alle leidingen in het model een sedimentatiehoogte toegevoegd. In het programma kan slechts één sedimentatiepeil worden aangenomen voor de gehele leiding. Voor elke leiding werd daarom de sedimenthoogte van de boven- en benedenstroomse put gemiddeld.

InfoWorks-CS moet kunnen berekenen hoe groot de verliezen zijn die in de leidingen optreden. Dit zal in principe standaard worden gedefinieerd door InfoWorks-CS aan de hand van de formule van White-Colebrook. Het programma rekent met een standaardwaarde voor de ruwheid van 1,5 mm. Voor alle grachten werd de ruwheid handmatig aangepast naar een waarde van 300 mm. Deze waarde wordt standaard opgelegd voor Hydronautstudies.

Naast het inbrengen van attributen moe duidelijk naar voren komen waar gegevens vandaan werden gehaald. Dit is in de software mogelijk gemaakt door aan de attribootvelden een vlag toe te kennen. In tabel 4 zijn de veelgebruikte vlaggen in InfoWorks-CS uiteengezet.

Tabel 4: Veel gebruikte vlaggen in InfoWorks die aangeven hoe waarden werden verkregen

Vlag	Betekenis
OP	Kwalitatief goedgekeurde opmeting op terrein
AW	Aangenomen waarde waarvan afkomst niet direct relateerbaar is aan een vlag
DH	Geïnterpoleerd verkregen waarde met behulp van het digitaal hoogtemodel
#D	Default waarde welke automatisch werd bepaald door InfoWorks-CS
#A	Standaard voorgestelde vlag bij conversie van InfoNet naar InfoWorks-CS
OD	Overgenomen uit ontwerp dossier
ID	Geïnterpoleerde waarde
#G	Berekende waarde via Area Take-Off methode
AB	Overgenomen uit officieel asbuiltpun
TW	Geobserveerde waarde op terrein tijdens een niet officiële opmeting

Het gebruik van vlaggen is handig bij het controleren van ingegeven waarden. Ook is het voor de opdrachtgever van belang om te zien hoe waarden werden verkregen, zodat het model voor hen inzichtelijk is en nagegaan kan worden in hoeverre het model goed werd opgesteld.

De bewerking die InfoWorks-CS toepast op de composietbuizen en bij het inrekenen van de neerslag is gegeven in Bijlage F: Bewerking composietbuizen.

5 Randvoorwaarden

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe is gekomen tot de randvoorwaarden die aan het model worden gesteld vanuit omliggende riooldeelbekkens. Deze bepalen mede in hoeverre het model overeenkomt met de werkelijke situatie in het studiegebied.

In de theorie is reeds aangestipt dat een studiegebied hydraulisch afkoppelbaar is van omliggende gebieden. Hetzelfde geldt voor de riooldeelbekkens die binnen het studiegebied aanwezig zijn. In het studiegebied zijn dit er 24 met RWA inbegrepen. De omliggende riooldeelbekkens zullen een zekere invloed uitoefenen op het studiegebied. Om deze invloed correct te modelleren moeten er hydraulische randvoorwaarden worden opgelegd aan het studiegebied. De randvoorwaarden waar hierover wordt gesproken betreffen het huidige waterpeil, het maximale sedimentatie peil en het maximale waterpeil van alle in- en uitlaten gelegen in het studiegebied. Bij inlaten komt er water het gebied binnen en bij uitlaten verlaat water het gebied.

Om de benodigde informatie te verkrijgen zijn er twee taken uitgevoerd. Eerst is gekeken naar de fiches van de opgemeten in- en uitlaten. Met fiches wordt hier de documentatie van de opgemeten structuren bedoeld. Hieruit werd het huidige waterpeil (ten tijde van de meting) en de sedimenthoogte duidelijk. Bij de opmeting werd echter nooit het maximale waterpeil vastgesteld. Deze kenmerkt zich meestal door een nog zichtbare kleurovergang op de in- of uitlaat. Omdat deze informatie ontbrak werd de tweede taak uitgevoerd. Voor alle in- en uitlaten werd een plan afgedrukt om terreinbezoek voor te bereiden. Het voorbereide plan is opgenomen in Bijlage G: Voorbereiding terreinbezoek. Vervolgens werden alle in- en uitlaten bezocht en werden de huidige waterhoogte, de sedimenthoogte en het maximaal aanwijsbare peil geïnterpreteerd.

Aan de hand van de verkregen informatie werd vervolgens bepaald wat het huidige waterpeil, het maximale sedimentatiepeil en het maximale waterpeil ter hoogte van de in- en uitlaten was. Deze peilen werden vervolgens in het model gebracht, zodat de invloed van deelbekkens op het studiegebied op de juiste wijze wordt meegenomen in het model. Aangezien het hier gaat om een model van de bestaande toestand, zijn de randvoorwaarden opgelegd aan de hand van het huidige waterpeil ter hoogte van de in- en uitlaten. De maximale waterhoogte en sedimentatiehoogte zal gebruikt worden bij het modelleren van de geplande toestand. In figuur 11 zijn twee uitlaten weergegeven die werden gefotografeerd tijdens het terreinbezoek.



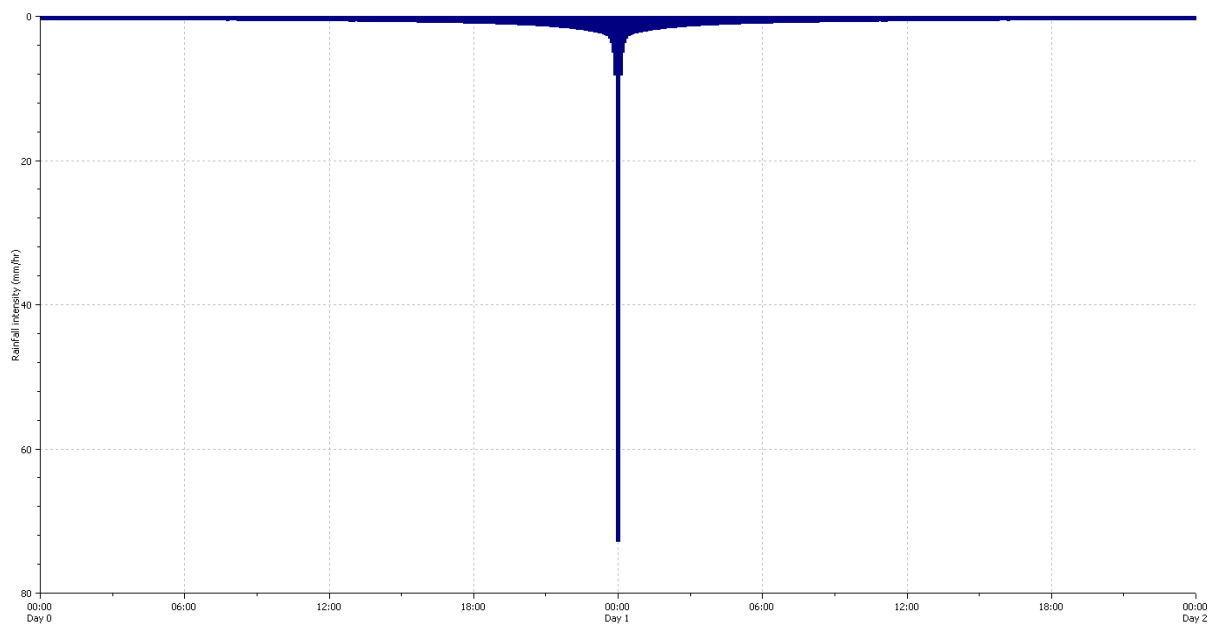
Figuur 11: Twee uitlaten die werden gefotografeerd tijdens het terreinbezoek dat werd uitgevoerd om het huidige peil, het maximale sedimentatiepeil en het maximale peil van alle in- en uitlaten in het studiegebied te achterhalen

6 Validatie

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de toetsing van het model aan de werkelijkheid is gedaan. Dit is van groot belang om te achterhalen of het model goede voorspellingen kan doen van de werkelijke situatie.

Bij de validatie van het opgesteld model werd er geen gebruik gemaakt van een kwantitatieve validatie. Dit werd niet gedaan, omdat er geen debietmeetcampagne werd uitgevoerd in het zuiveringsgebied Beveren-Leie. Daarom werd de validatie verricht aan de hand van kwalitatieve vergelijkingen met de werkelijke situatie.

Om de validatie te verrichten werden eerst simulaties uitgevoerd met verschillende composietbuien. Hiervoor werden buien gebruikt met een herhalingsstijd van $T = 1/10, 1/7, 2, 5, 10$ en 20 jaar. De karakteristieke vorm van deze buien wordt weergegeven in figuur 12. Hierin is de grafiek opgenomen die hoort bij een composietbui met een herhalingsstijd van $T = 2$ jaar.



Figuur 12 Karakteristieke grafiek van een composietbui, dit is een bui met een herhalingsstijd van 2 jaar

Wat opvalt in bovenstaande grafiek is dat de composietbuien een erg scherpe piek kennen. De buien duren 48 uur, waarin er gedurende een kort tijdsbestek van ongeveer twee uur erg veel neerslag valt. Daarnaast is opvallend dat de buien tot aan de 24 uur steeds in intensiteit toenemen en daarna constant in intensiteit afnemen. De bui is op de tweede dag bovendien een exacte spiegeling van de eerste dag.

Van alle buien zijn de belangrijkste karakteristieken weergegeven in tabel 5.

Tabel 5: Karakteristieken van de composietbuien met een herhalingsstijd van $T = 1/10, 1/7, 2, 5, 10$ en 20 jaar

Type bui	Maximale neerslagintensiteit (mm/uur)	Duur van de bui (uur)	Totale hoeveelheid neerslag (mm)
T1/10	18,45	48	12,44
T1/7	24,32	48	15,46
T2	72,78	48	53,30
T5	88,47	48	63,45
T10	100,33	48	71,89
T20	112,19	48	81,52

De simulatieresultaten werden vervolgens gebruikt voor de validatie van het model. Om te achterhalen hoe de toestand in werkelijkheid is, werden vier kennisbronnen aangewend:

1. De gemeente
2. De brandweer
3. Agentschap voor geografische informatie Vlaanderen (AGIV)
4. Omwonenden

Bij de gemeente kunnen inwoners hun wateroverlast melden. Vandaar dat bij de gemeente in principe bekend is op welke plaatsen zich wateroverlast voordoet. Er is daarom een opvraging van deze gegevens gedaan bij de gemeenten van Lendelede en Harebeke. Een probleem van deze gegevens is dat deze zeker niet compleet zullen zijn. Wateroverlast waarbij weinig tot geen schade zal immers niet altijd gemeld worden.

Een andere instantie die weet of er wateroverlast voorkomt in het gebied is de brandweer. Wanneer er wateroverlast aanwezig is zal de brandweer immers ingeschakeld worden om de problemen op te lossen. Daarom werd bij de brandweer geïnformeerd op welke plaatsen er wateroverlast voorkomt. Daarnaast werd er een vergadering belegd met de brandweer van Harelbeke om de simulatieresultaten door te spreken. Hier werd nog wat extra informatie ingewonnen.

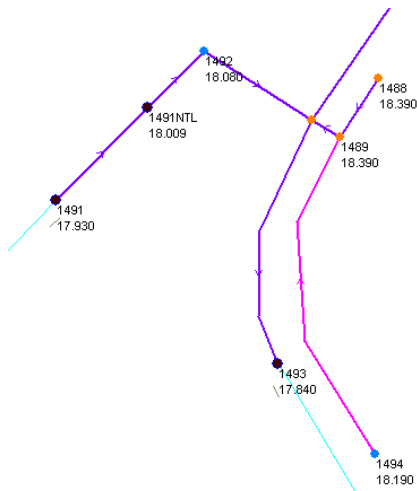
Ook werd gebruik gemaakt van digitale kaarten die worden bijgehouden door het AGIV. Deze instantie richt zich volledig op het verzamelen van geografische informatie in Vlaanderen. Een klein onderdeel hiervan is het inventariseren van plaatsen waar wateroverlast kan voorkomen. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt in de volgende vier typen gebieden: effectief overstromingsgevoelig, mogelijk overstromingsgevoelig, niet overstromingsgevoelig en risicozone voor overstroming. Op basis van deze kaarten werd nog wat extra informatie over het gebied bekend.

Tot slot werd nog gebruik gemaakt van de kennis van bewoners. Op plaatsen waar wateroverlast werd gesimuleerd is aan omwonenden gevraagd naar de situatie. Dit is gedaan door het verrichten van een terreinbezoek. Het voordeel hiervan is dat omwonenden rechtstreeks betrokken zijn bij de wateroverlast en daardoor goed zullen weten of er overlast voorkomt.

Op basis van de verkregen gegevens werd het model gevalideerd. Het model bleek in de basis al redelijk overeen te komen met de wateroverlast zoals deze bij de gemeente, de brandweer, het AGIV en omwonenden bekend was. Op de punten waar het model niet overeenkwam met de werkelijke situatie werd het model gecontroleerd. Subcatchments werden nagekeken en de toegekende attributen werden overlopen. Na deze aanpassingen werd de validatie van het model afgerond.

mee kunnen helpen zijn een verhoging van de maaiveldpeilen en het verdiepen en verbreden van de gracht aan weerszijden van de straat.

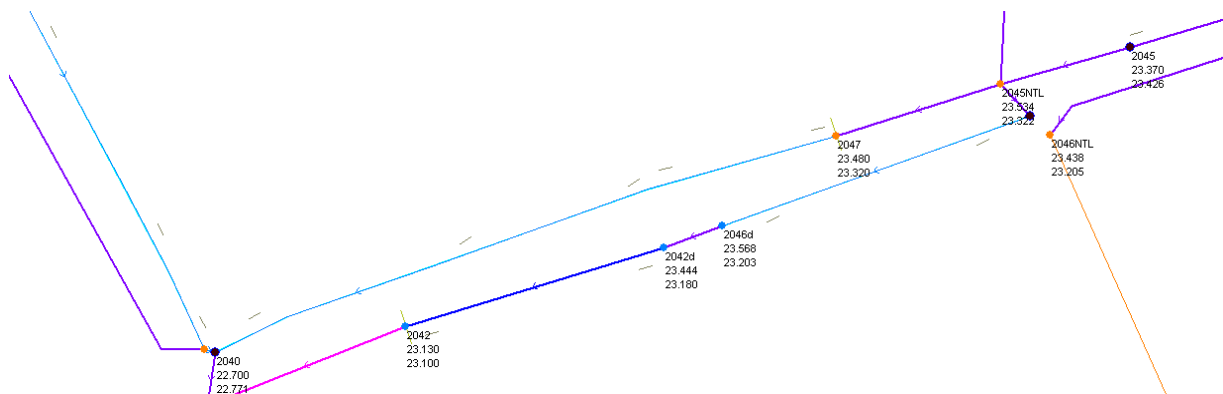
Hulste



Lokale overlast van het regenwaterstelsel in de Kantstraat ter hoogte van de knopen 1491, 1491NTL en 1493. De maximale overstromingshoogte is 25,8 centimeter en het maximale overstromingsvolume is 20,3 m³. Het probleem wordt veroorzaakt door de grote afvoeren die voortkomen vanuit het nabijgelegen bedrijventerrein en een onverharde afstromende zone. Oplossingen die de problemen kunnen ondervangen zijn het verbreden en verdiepen van de nabijgelegen grachten of de aanleg van een reservoir. Andere opties die kunnen meehelpen zijn het aanleggen van leidingen met grotere doorvoercapaciteit of het verleggen van de bedrijfsaansluitingen op de riolering.

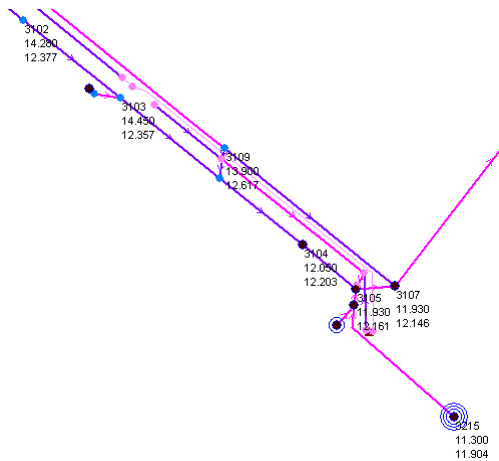
Figuur 15: Wateroverlast in de Kantstraat, Hulste

Overlast van het gemengde stelsel in de Blauwhuisstraat. Het gaat om de Blauwhuisstraat in Klein Harelbeke ter hoogte van de knopen 2040, 2045 en 2046. De maximale overstromingshoogte is 7,1 centimeter en het maximale overstromingsvolume is 5,6 m³. Het probleem wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid runoff die naar de riolering stroomt vanuit bovengenoemde onverharde gebieden. Oplossingen die dit kunnen voorkomen zijn het afkoppelen van de afvoer veroorzaakt door deze onverharde gebieden. Dit kan via de aanleg van bekkens of grachten richting een ander deel van het stelsel. Daarnaast kan er gekozen worden voor het vergroten van de leidingdiameters in de gehele straat in combinatie met het verdiepen en verbreden van de grachten.



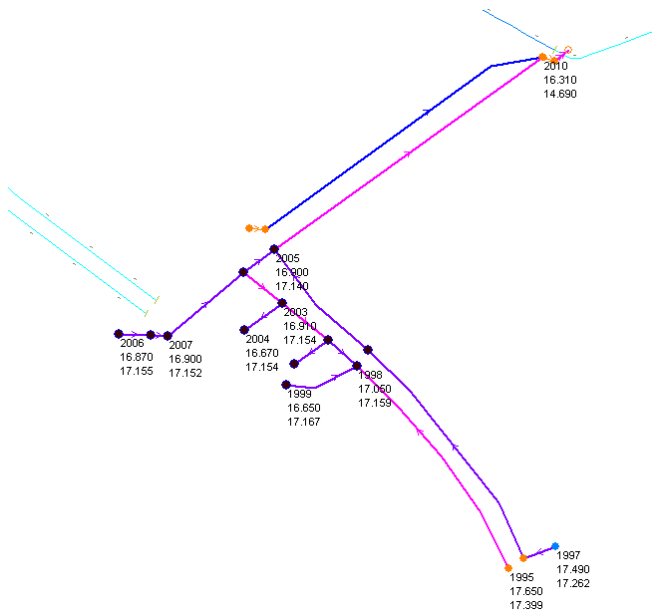
Figuur 16: Wateroverlast in de Blauwhuisstraat, Hulste

Bavikhove



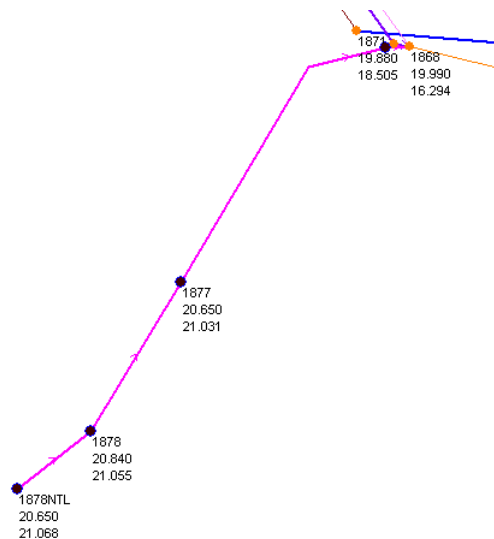
Overlast van het regenwaterstelsel in de Vaarnewijkstraat ter hoogte van de knopen 1215, 5004, 3107, 3105 en anderen. De maximale overstromingshoogte is 60,4 centimeter en het maximale overstromingsvolume 314 m³. Het probleem wordt veroorzaakt doordat er veel grote bedrijven in het gebied gesitueerd zijn die afwateren op het stelsel. Oplossingen die de wateroverlast kunnen terugdringen zijn het gedeeltelijk afkoppelen van de omliggende bedrijven naar grachten in de buurt en de bedrijven voorzien van bufferbekkens.

Figuur 17: Wateroverlast in de Vaarnewijkstraat, Bavikhove



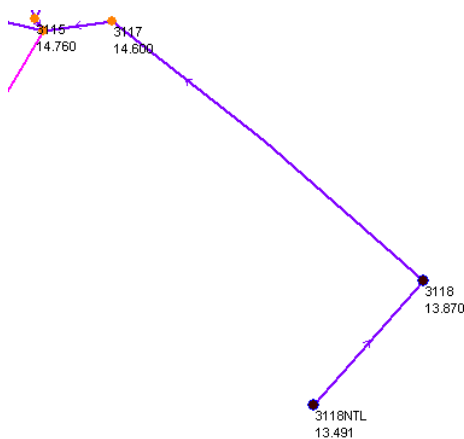
Overlast van het gemengde stelsel in de Gentssteenweg en de Evangeliestraat. De overlast doet zich voor ter hoogte van de knopen 2004, 2003, 1998, 1999 en anderen. De maximale overstromingshoogte is 48,4 centimeter en het maximale overstromingsvolume is 17,7 m³. De oorzaak zijn de grote bedrijven die aan de straat liggen en waarvan is verondersteld dat deze aansluiten op het stelsel. Dit moet echter nog bevestigd worden door de bedrijven zelf. Mogelijk is een gedeelte van de afvoer aangesloten op de omliggende grachten.

Figuur 18: Wateroverlast in de Gentssteenweg en de Evangeliestraat, Bavikhove



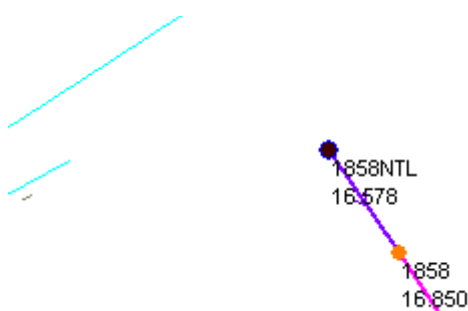
Overlast van het gemengde stelsel in de Haringstraat ter hoogte van de knopen 1877, 1878, 1878NTL en 1870. De maximale overstromingshoogte is 94,3 centimeter met een maximaal overstromingsvolume van 34,5 m³. De oorzaak van het probleem is de leiding tussen de knopen 1870 en 1868. Deze heeft een knijpende werking, doordat het doorstroomoppervlak veel kleiner is dan stroomopwaarts gelegen leidingen. Daarnaast is er een grote hoeveelheid sedimentatie in deze leiding aanwezig. Het probleem kan opgelost worden door de leidingdiameter te vergroten. Dit zal stroomafwaarts niet voor extra overlast zorgen, aangezien de capaciteit daar toereikend is.

Figuur 19: Wateroverlast in de Haringstraat, Bavikhove



Overlast van het gemengde stelsel in de Afspanningsstraat ter hoogte van de knopen 3118 en 3118NTL. De maximale overstromingshoogte is 40,1 centimeter en het maximale overstromingsvolume is 3,6 m³. De oorzaak is het lage maaiveldpeil ter plaatse van de putten. Oplossingen voor het probleem zijn het vergroten van de buisdiameters, het ophogen van het maaiveldpeil of het aansluiten van enkele woningen op de achterliggende grachten.

Figuur 20: Wateroverlast in de Afspanningsstraat, Bavikhove



Overlast van het gemengde stelsel in de Treurnietstraat bij knoop 1858NTL. De overstromingshoogte is 10,3 centimeter en het volume van de overstroming is 0,9 m³. De oorzaak van het probleem moet gezocht worden in het dalende maaiveldpeil ter plaatse in combinatie met sedimentatie in de leidingen. Oplossingen hiervoor zijn het schoonspuiten van de leiding, het vergroten van de leidingdiameters, het verhogen van het maaiveldpeil of het doortrekken van de achterliggende gracht zodat achterliggende woningen op de gracht kunnen lozen.

Figuur 21: Wateroverlast in de Treurnietstraat, Bavikhove

In de onderstaande tabel is nogmaals een overzicht opgenomen met de plaatsen waar wateroverlast gesimuleerd wordt bij een composietbui met een herhalings-tijd van T = 2 jaar. Overlast van het gemengde stelsel is in het oranje aangegeven en overlast van het regenwaterstelsel is in het blauw aangegeven. Daarnaast is de gesimuleerde maximale overstromingshoogte en het maximale overstromingsvolume aangegeven. Verder is nogmaals aangegeven wat de oorzaak kan zijn en welke

oplossingen het probleem kunnen verhelpen. De simulatieresultaten verkregen bij de verschillende composietbuizen zijn gegeven in Bijlage I: Simulatieresultaten.

Tabel 6: Overzichtstabel met de plaatsen waar water op straat gesimuleerd wordt bij een bui met een herhalingsdij van $T = 2$ jaar

Straat	Deelgemeente	Overstromingshoogte (cm)	Overstromingsvolume (m³)
Heulsestraat	Lendeledede	20,1	4,3
Oorzaak	Combinatie van een dalend maaiveldpeil en stroomafwaartse opstuwing		
Oplossingen	Het vergroten van de buisdiameters stroomafwaarts, het verhogen van het maaiveldpeil ter plaatse, het aanleggen van een overloopgoot en gracht verder opwaarts, een aansluiting maken met de bestaande riolering verderop, een vergroting van het kamervolume bij de knoop		
Hulstemolenstraat	Lendeledede	30,6	122
Oorzaak	De afvoer van grote onverharde oppervlakten naar de riolering, versterkt effect door lager maaiveldpeil in de straat		
Oplossingen	Het aanleggen van een reservoir om de runoff van het onverharde gebied op te vangen. Ondersteunde maatregelen zijn een verhoging van de maaiveldpeilen ter plaatse en het verdiepen en verbreden van de gracht aan weerszijden van de straat		
Kantstraat	Hulste	25,8	20,3
Oorzaak	De grote afvoer die wordt gegenereerd vanuit het nabijgelegen bedrijventerrein en een onverharde afstromende zone		
Oplossingen	Het verbreden en verdiepen van de nabijgelegen grachten of de aanleg van een reservoir. Opties die kunnen meehelpen zijn het aanleggen van leidingen met grotere doorvoercapaciteit of het verleggen van de bedrijfsaansluitingen op de riolering		
Blauwhuisstraat	Hulste	7,1	5,6
Oorzaak	De grote hoeveelheid runoff die naar de riolering stroomt vanuit bovengelegen onverharde gebieden		
Oplossingen	Het afkoppelen van de afvoer veroorzaakt door de bovenliggende onverharde gebieden via de aanleg van bekkens of grachten naar andere delen van het stelsel. Daarnaast kan het vergroten van de leidingdiameters in de gehele straat in combinatie met het verdiepen en verbreden van de grachten helpen		
Vaarnewijkstraat	Bavikhove	60,4	314
Oorzaak	De vele grote bedrijven in het gebied die afwateren op de riolering in de straat		
Oplossingen	Het gedeeltelijk afkoppelen van de omliggende bedrijven naar grachten in de buurt en de bedrijven voorzien van bufferbekkens		
Gentsesteenweg/ Evangeliestraat	Bavikhove	48,4	17,7
Oorzaak	De grote bedrijven die aan de straat liggen en waarvan is verondersteld dat deze aansluiten op het stelsel		
Oplossingen	Bedrijven contacteren voor aanvullende informatie		
Haringstraat	Bavikhove	94,3	34,5
Oorzaak	De leiding met kleine diameter tussen de knopen 1870 en 1868 die ook nog voor een groot gedeelte gesedimenteerd is.		
Oplossingen	Het vergroten van de leidingdiameter		
Afspanningsstraat	Bavikhove	40,1	3,6
Oorzaak	Het lage maaiveldpeil ter plaatse van de putten		
Oplossingen	Het vergroten van de buisdiameters, het ophogen van het maaiveldpeil of het aansluiten van enkele woningen op de achterliggende grachten		
Treurnietstraat	Bavikhove	10,3	0,9
Oorzaak	Het dalende maaiveldpeil ter plaatse in combinatie met sedimentatie van de leidingen		
Oplossingen	het doorspuiten van de leiding, het vergroten van de leidingdiameters, het verhogen van het maaiveldpeil of het doortrekken van de achterliggende gracht in combinatie met een aansluiting van achterliggende woningen op deze gracht		

8 Discussie

In dit hoofdstuk zal kritisch worden gekeken naar de opbouw van het model. Daarbij zal aangegeven worden waarom zaken op deze wijze werden aangepakt. Een model blijft immers een benadering van de werkelijkheid en zal dus nooit de exacte situatie beschrijven. Er zal altijd een afweging gemaakt worden tussen de beperkte middelen die ter beschikking staan en het detailniveau waarop het model wordt uitgewerkt.

Bij het digitaliseren van het stelsel was er niet altijd de beschikking over opgemeten gegevens. Voor de ontbrekende gegevens moesten soms aannames worden gedaan. Soms waren deze afkomstig van asbuilt plannen of ontwerpplannen. Deze waarden zullen betreffende ordegrrootte nauwkeurig zijn. Wanneer er ook geen plannen beschikbaar waren, moesten waarden geïnterpoleerd of aangenomen worden. Deze waarden zijn eigenlijk niet betrouwbaar en introduceren fouten in het model. Om dit zoveel mogelijk uit te bannen is er een controle uitgevoerd na de simulaties. Op het moment dat er wateroverlast werd gesimuleerd op plaatsen waar deze niet gekend was, zijn de vlaggen nogmaals gecontroleerd. Wanneer er aangenomen of geïnterpoleerde waarden tussen zaten zijn deze nogmaals kritisch bekeken. Er werd dan getracht betere informatie te verkrijgen door aanvullende plannen aan te vragen of een terreinbezoek te verrichten.

Voor de grote verharde oppervlaktes in het gebied zijn bedrijven bevraagd. De verkregen antwoorden kunnen onjuistheden bevatten, aangezien niet altijd bekend is hoe de afwatering van panden geregeld is. De riolering is soms al decennia aanwezig, terwijl het pand vele malen van eigenaar is gewisseld. Er gaat dus onzekerheid gepaard met de verkregen antwoorden. Daarnaast is niet van alle bedrijven informatie ontvangen. Hierdoor moesten aannames worden gedaan voor deze bedrijven. Dit introduceert fouten in het model. Bij het doen van aannames is telkens uitgegaan van de meest ongunstige situatie. Door dit te doen is vermeden dat het model te positieve uitkomsten simuleert. De controle werd gedaan aan de hand van plaatsen waar wateroverlast voorkwam, terwijl deze in de werkelijke situatie niet bekend was. Wanneer dit werd veroorzaakt door de gedane veronderstellingen is getracht de bedrijven nogmaals te contacteren.

Bij het invoeren van de sedimentatiewaarden in de leidingen kon slechts één uniforme sedimentatiewaarde voor iedere leiding worden ingegeven in het model. In de werkelijke situatie zal dit niet het geval zijn, waardoor er fouten in het model werden geïntroduceerd. Daarnaast moesten aannames worden gedaan voor dit peil, aangezien het sedimentatiepeil alleen ter hoogte van de open afwaarts gelegen putten werd opgemeten. Door het gemiddelde van deze peilen te nemen werden nogmaals fouten in het model gebracht. Er is geen controle gedaan op de ingevoerde waarden. Deze werkwijze werd gehanteerd omdat het veel tijd en geld kost om het exacte sedimentatiepeil in de gehele leiding vast te leggen.

Het huidige waterpeil van alle in- en uitlaten werd gebaseerd op fiches en een terreinbezoek. Het opmaken van de fiches werd echter al gedaan in 2010, terwijl het terreinbezoek werd verricht in 2014. Uiteindelijk werd voor het huidig peil de hoogste waarde van de twee opmetingen aangenomen. Hiermee wordt een situatie voorgesteld die niet klopt met de werkelijke situatie, waardoor fouten in het model worden geïntroduceerd. Deze werkwijze werd toch gehanteerd omdat daarmee werd uitgegaan van de meest negatieve situatie. Bovendien was het gezien de beperkte tijd en de hoge kostenpost niet mogelijk nogmaals een professionele meting van alle in- en uitlaten in het gebied te laten doen.

De validatie werd gedaan op basis van kwalitatieve gegevens. In een model dat uitkomsten geeft als kwantitatieve waarden is deze methode onnauwkeuriger dan een validatie met behulp van kwantitatieve gegevens. Bij die vorm van validatie was een exactere weergave van de werkelijke

situatie mogelijk geweest. Het verkrijgen van de gegevens om een kwantitatieve validatie te doen kost echter veel tijd en geld. Voor het zuiveringsgebied Beveren-Leie is daarom de afweging gemaakt om dit niet te doen. De mate waarin het opgestelde model de werkelijke situatie goed weergeeft is door de kwalitatieve validatie onzeker. Hiermee zijn de verkregen resultaten dus ook onzeker.

Doordat er meerdere onnauwkeurigheden en fouten in het model aanwezig zijn is het niet mogelijk de verkregen simulatieresultaten één op één te vertalen naar de werkelijke situatie. Het model is een benadering van de werkelijke situatie en zal op hoofdlijnen overeenkomen met de werkelijkheid.

9 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt de conclusie van het onderzoek gegeven. De deelvragen en de hoofdvraag worden beantwoord en ook worden er aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

9.1 Conclusie

Deze opdracht richtte zich op het achterhalen van de knelpunten in het rioleringsstelsel van het zuiveringsgebied Beveren-Leie. De vraag die getracht werd te beantwoorden is: welke knelpunten kent het rioleringsstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie en hoe kunnen deze opgelost worden. Door de deelvragen te beantwoorden werd gekomen tot een antwoord op de hoofdvraag.

De eerste deelvraag was: hoe werkt de riolering in het zuiveringsgebied Beveren-Leie en hoe kan deze schematisch worden voorgesteld. De riolering in het zuiveringsgebied blijkt grotendeels te zijn uitgevoerd als vrijval riolering en voor kleine delen als mechanische riolering. De mechanische delen kenmerken zich door vier pompstations die zorgen voor de toevoer naar de waterzuiveringsinstallatie. Het stelsel is daarnaast grotendeels als gemengd systeem uitgevoerd en voor kleine delen gescheiden.

Hoe werd gekomen tot de gewenste modeloutput was de tweede deelvraag. Dit werd gedaan door het hanteren van de riooldeelbekkenbenadering, het ingeven van input en het opleggen van randvoorwaarden. Aan de hand van de riooldeelbekkenbenadering werd een schematische voorstelling opgesteld om de structuur van het stelsel te analyseren. Vervolgens werd het stelsel gedigitaliseerd en werd de toevoer van omliggende verharde en onverharde gebieden richting het rioleringsstelsel gemodelleerd. De invloed van omliggende overstortbakken werd meegenomen in het model door het opleggen van een huidig en maximaal waterpeil van alle in- en uitlaten.

Om het model overeen te laten komen met de werkelijkheid werd een kwalitatieve validatie uitgevoerd. Hiermee wordt de derde deelvraag beantwoord. Doordat er echter nogal wat onzekerheden samenhangen met deze manier van valideren zullen de modelresultaten op hoofdlijnen overeenkomen met de werkelijke situatie.

Aan de hand van het modelresultaten kan gesteld worden dat er negen knelpunten in het rioleringsstelsel bestaan op basis van de eisen die door Infrac aan het stelsel worden gesteld. Hierbij is de richtlijn gehanteerd uit de Code van goede Praktijk waarin wordt gesteld dat er bij een composietbui met een herhalingsstijd van $T = 2$ jaar geen water op straat mag voorkomen. Uit het model volgt dat er in het zuiveringsgebied Beveren-Leie bij een dergelijke bui wel water op straat aanwezig is.

In Lendeledede zijn er twee plaatsen waar wateroverlast wordt gesimuleerd bij een dergelijke bui. Dit is in de gemengde stelsels van de Heulsestraat en de Hulstemolenstraat. Het probleem in de Heulsestraat is gering en kan worden opgelost door een vergroting van de buisdiameters stroomafwaarts. In de Hulstemolenstraat is het probleem aanzienlijk en zal het aanleggen van een reservoir het probleem wellicht kunnen ondervangen.

Er zijn ook twee plaatsen in Hulste waar bij een composietbui met een herhalingsstijd van $T = 2$ jaar water op straat staat volgens de simulaties. Het regenwaterstelsel in de Kantstraat en het gemengde stelsel in de Blauwhuisstraat zorgen daar voor problemen. In de Kantstraat kan volstaan worden met het verbreden en verdiepen van de nabijgelegen grachten of de aanleg van een klein bufferbekken. In de Blauwhuisstraat zal het probleem effectief worden aangepakt door de afvoer van bovenliggende onverharde gebieden via andere delen van het stelsel af te voeren. Dit kan door de aanleg van grachten.

In Bavikhove komt daarnaast in het model nog op vijf plaatsen water op straat voor bij een dergelijke bui. In het regenwaterstelsel van de Vaarnewijkstraat is deze overlast erg groot. Een oplossing kan gezocht worden in het afkoppelen van de omliggende bedrijven naar nabijgelegen grachten of de aanleg van reservoirs door de bedrijven. Het gemengde stelsel ter hoogte van de Gentsesteenweg en de Evangeliestraat simuleert ook wateroverlast. Omliggende bedrijven moeten echter nog worden gecontacteerd over de wijze waarop zij afwateren. In de Treurnietstraat geeft het gemengde stelsel ook overlast. Dit probleem kan opgelost worden door de leidingen schoon te spuiten. In de Haringstraat ontstaat ook aanzienlijke overlast van het gemengde stelsel. Dit kan opgelost worden door één klein gedeelte buis opnieuw te leggen met een groter doorstroomoppervlak. Tot slot wordt wateroverlast gesimuleerd in de Afspanningsstraat. Dit probleem kan opgelost worden door grotere buisdiameters te voorzien.

De bovenstaande negen knelpunten komen voor in het zuiveringsgebied Beveren-Leie volgens de simulaties met het opgestelde model. Er mag met enige zekerheid gesteld worden dat deze knelpunten ook in de werkelijke situatie zullen voorkomen op basis van de verkregen informatie tijdens de kwalitatieve validatie. Hiermee wordt het eerste deel van de hoofdvraag "welke knelpunten kent het rioleringsstelsel in het zuiveringsgebied Beveren-Leie" beantwoord. Het tweede deel van deze vraag "hoe kunnen deze opgelost worden" kan niet met zekerheid beantwoord worden. Het lijkt aannemelijk dat de bovenstaande oplossingen uitkomst kunnen bieden, maar om hier zekerder van te zijn moet er een model geplande toestand worden opgesteld. Dit valt buiten deze opdracht.

9.2 Aanbevelingen

Voordat er definitieve conclusies getrokken kunnen worden op basis van het model worden er nog drie aanbevelingen gedaan. De eerste aanbeveling is het nogmaals contacteren van de grote bedrijven waarvan geen afwateringsplan werd ontvangen. De betrouwbaarheid van het model kan aanzienlijk worden vergroot wanneer van alle bedrijven in het studiegebied bekend is hoe de afwatering gebeurt.

De tweede aanbeveling richt zich op de validatie. Wanneer het model gebruikt zal worden om exacte voorspellingen te doen, wordt aanbevolen alsnog een kwantitatieve validatie te verrichten. Weliswaar zal dit tijd en geld vergen, maar de betrouwbaarheid van het model kan er aanzienlijk mee worden verhoogd. Zeker bij het doen van voorspellingen is dit belangrijk.

De derde en laatste aanbeveling betreft het opstellen van een model geplande toestand. In een dergelijk model kunnen de verschillende oplossingen getest worden onder extreme omstandigheden. Op die manier kan met meer zekerheid worden bepaald welke oplossingen het meest geschikt zijn om de problemen in de toekomstige situatie te verhelpen.

10 Bibliografie

Aquafin. (2013). *Hydronautprocedure 6.5*. Aartselaar: Aquafin NV.

Belgische Radio Unie. (2013, juli 26). *www.belgischeradiounie.net*. Opgehaald van www.belgischeradiounie.net:
http://www.belgischeradiounie.net/index.php?option=com_content&view=article&id=2079:regio-kortrijk-hevige-regenval-zorgt-voor-wateroverlast&catid=34:bru-nieuws&Itemid=53

Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2002). *Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen*. Erembodegem: Werkgroep Waterzuivering van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid.

De Rioolkrak. (2013, december 16). *www.derioolkrak.be*. Opgehaald van www.derioolkrak.be:
<http://www.derioolkrak.be/gescheiden-riolering/>

De Watergroep. (2013). *Het gebruik van regenwater*. Brussel: Claes Printing.

Infrax. (2014). *www.infrax.be*. Opgehaald van www.infrax.be:
<http://www.infrax.be/nl/riolering/aansluiten/standaardaansluiting>

Nieuwsblad. (2007, juni 11). *www.nieuwsblad.be*. Opgehaald van www.nieuwsblad.be:
http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=GJ91DCSOT_4

Steehouder, M., Jansen, C., Maat, K., Staak, v. d., Vet, d. D., Witteveen, M., & Woudstra, E. (2006). *Leren communiceren*. Groningen: Noordhoff Uitgevers.

Stichting RIONED. (2009). *Riool in cijfers 2009-2010*. Ede: Stichting RIONED.

Vereniging van producenten van betonleidingsystemen. (2008). *Handboek rioleringstechniek*. Vereniging VPB.

Bijlage A: Werking pompen

In deze bijlage is de werking van de vier verschillende soorten pompen toegelicht.

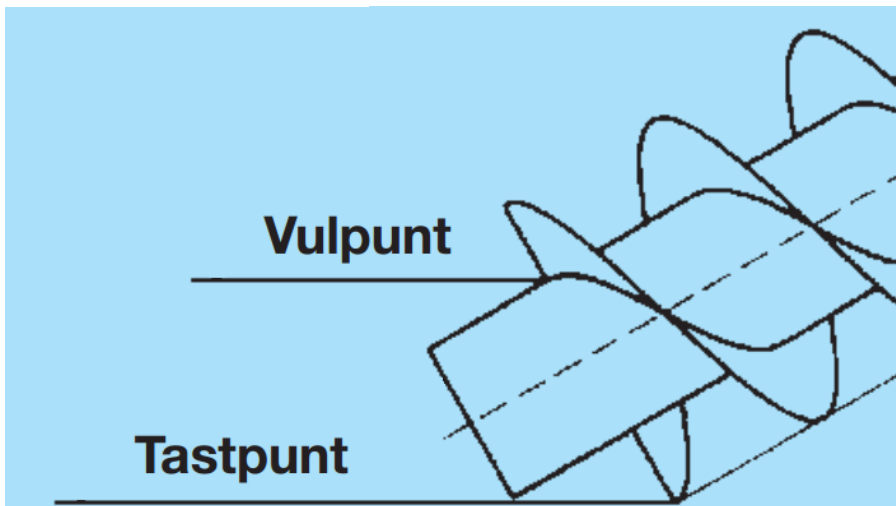
Vijzelpompen



Een vijzelpomp werkt hydraulisch gezien alleen op basis van het opwaartse waterpeil. De vijzelpomp brengt onder invloed van zijn roterende beweging het water op zijn randen omhoog. In de figuur hiernaast is een vijzelpomp afgebeeld.

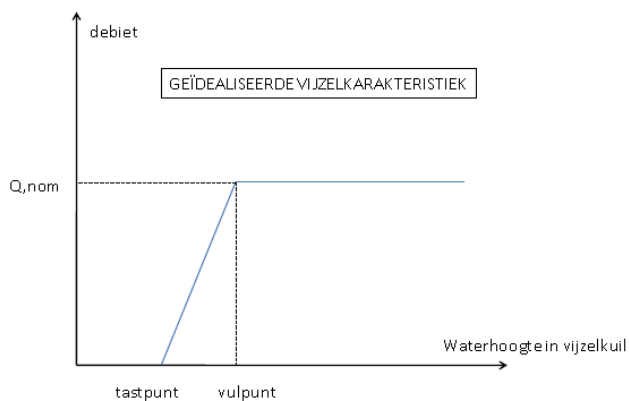
Vijzelpompen kennen een tastpunt en een vulpunt. Het tastpunt is het punt waarop het water de onderkant van de draaiende rand raakt. Vanaf dat peil zal er effectief water omhoog gepompt worden. Het vulpunt is het punt waarop de eerste rand volledig gevuld is met water. Een hoger waterpeil dan het vulpunt zorgt niet meer voor een toename in pompcapaciteit. Dit is schematisch weergegeven in figuur 23.

Figuur 22: Afbeelding vijzelpomp



Figuur 23: Het tastpunt en het vulpunt van een vijzelpomp

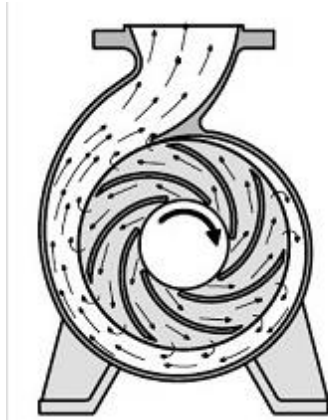
Naast het tast- en vulpunt zijn het aan- en afslagpeil van de pomp van belang. Dit zijn respectievelijk de waterpeilen waarop de pomp inschakelt of uitschakelt. De ideale werkingsskarakteristiek van een vijzelpomp wordt weergegeven in figuur 24.



Figuur 24: Ideale werking van een vijzelpomp

Zoals uit de figuur blijkt zal het verpompte debiet tussen het tastpunt en het vulpunt lineair toenemen wanneer er sprake is van een ideale vijzel. Nadat het waterpeil boven het vulpunt komt zal het debiet echter niet meer stijgen.

Centrifugaalpompen



Figuur 25: Een centrifugaalpomp werkt onder invloed van de middelpuntvliedende kracht, die de vloeistof bij een toerental dat hoog genoeg met grote kracht uit de waaier van de pomp drukt

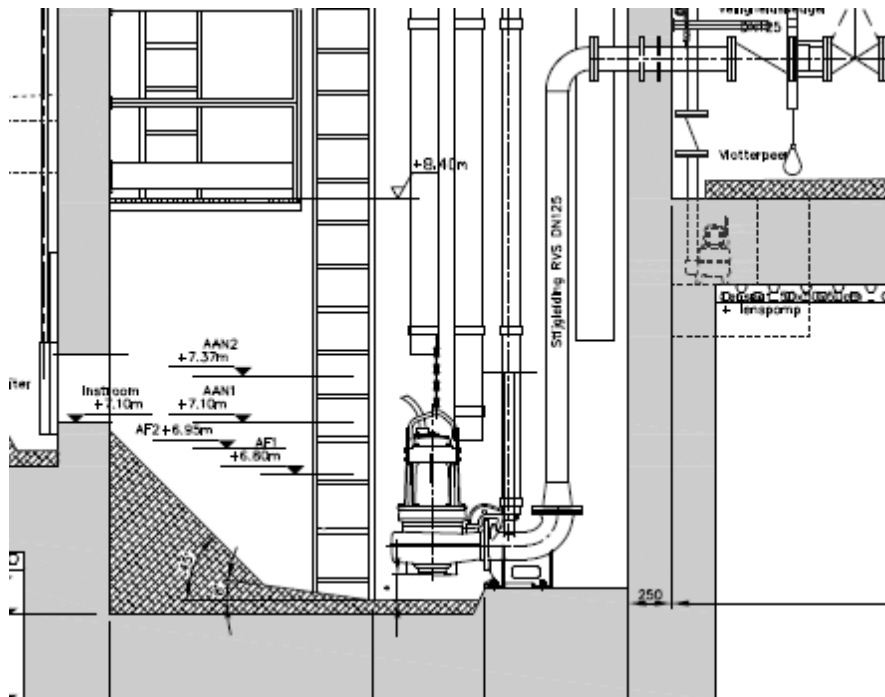
Een centrifugaalpomp bestaat uit een pomphuis met daarin een waaier. Het pomphuis heeft één ingaande leiding en één uitgaande leiding. Wanneer de pomp aanslaat, dit gebeurt wanneer het water boven het aanslagpeil komt, zal de waaier beginnen te draaien. De vloeistof die toekomt uit de ingaande leiding kan de waaier in via een opening. Op die manier vult de waaier zich met de vloeistof. Wanneer de pomp hard genoeg ronddraait zal de inhoud van de waaier steeds verder naar buiten worden gedrukt, onder invloed van de middelpuntvliedende kracht. Wanneer de pomp snel genoeg draait wordt de vloeistof uit de waaier geslingerd met een hoge snelheid, waardoor het de uitgaande leiding in wordt geperst. Dit gebeurt onder hoge druk. Het principe zoals uitgelegd is hiernaast schematisch weergegeven in figuur 25.

Doordat de vloeistof uit de waaier wordt gedrukt, ontstaat er een onderdruk in het hart van de waaier. Dit heeft een aanzuigende werking op de inkomende leiding, waardoor de waaier opnieuw gevuld wordt met vloeistof. Dit blijft doorgaan zolang de pomp werkt. De pomp stopt met werken wanneer het waterpeil onder het afslagpeil van de pomp komt.

Centrifugaalpomp met persleiding

De uitgaande leiding van een centrifugaalpomp is vaak een persleiding. Hieronder wordt verstaan een leiding waar het water doorheen wordt geperst en waarin zich een grote hoeveelheid druk opbouwt. Deze combinatie wordt een centrifugaalpomp met persleiding genoemd. De werking van een dergelijke structuur hangt af twee zaken, namelijk de pompkarakteristiek en de karakteristiek van de persleiding. Het punt waar deze twee karakteristieken samenkomen is het werkingpunt. Dit punt is maatgevend voor het debiet en de opvoerhoogte van de pomp. Hierover volgt later een uitleg.

Meestal is er sprake van een 2+1 opstelling bij pompstations. Dit betekent dat het station drie pompen bevat, waarvan er één een reservepomp is. De andere twee pompen hebben verschillende aan- en afslagpeilen, waardoor ze op verschillende momenten in werking zullen treden. Zo kan het zijn dat er de gehele tijd één pomp in werking is, maar bij harde regenval (en een grotere toestroom richting pomp) twee pompen in werking zijn. Dit is illustratief weergegeven in figuur 26.

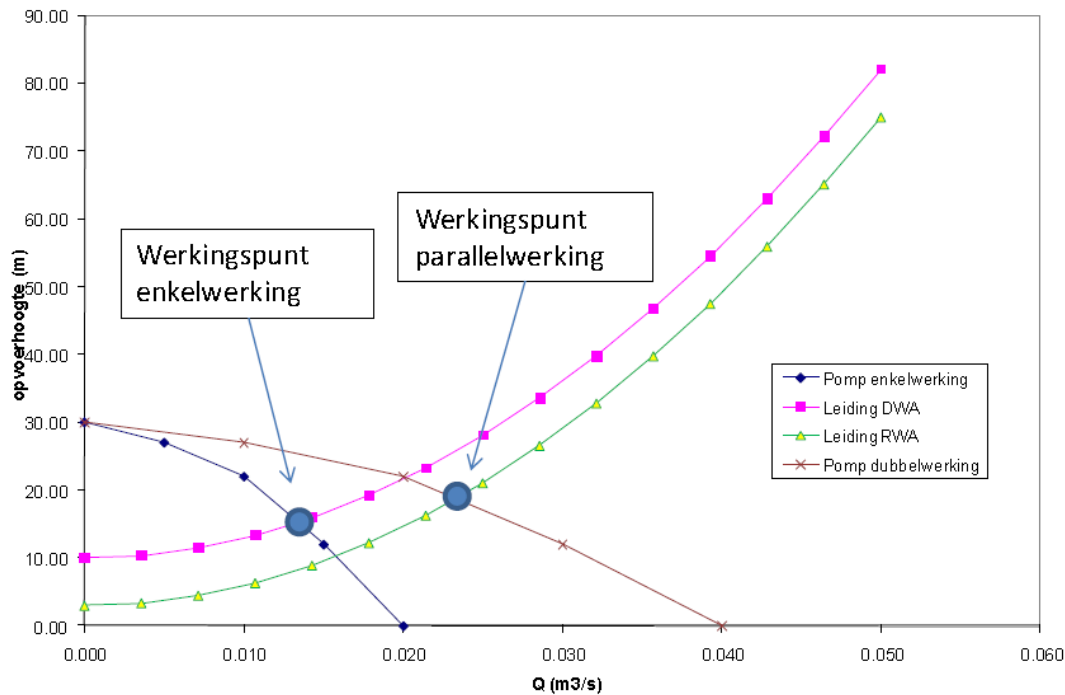


Figuur 26: Werking van centrifugaalpomp in 2+1 opstelling met een stroomafwaartse persleiding

In bovenstaande figuur is een weergave opgenomen van een bemeten pompstation in het studiegebied. Hierop is het gedeelte weergegeven dat de 2+1 pompwerking illustreert. Zoals te zien is het aanslagpeil van pomp 1 gelijk aan +7,10 meter TAW en het afslagpeil van de pomp aan +6,80 meter TAW. Het aanslagpeil en afslagpeil van pomp 2 zijn respectievelijk +7,37 meter en +6,95 meter TAW. In dit geval betekent dat het volgende voor het aan- en afslaan van de pompen. Wanneer het peil boven de 7,10 meter komt zal pomp één in werking treden. Deze blijft werken totdat het peil onder de 6,80 meter komt. Wanneer het peil verder stijgt, boven de 7,37 meter zal ook pomp twee beginnen met werken. Deze blijft werken totdat het peil onder de 6,95 meter zakt. Aangezien het ook mogelijk is dat de werking van twee pompen niet afdoende is om een stijgend waterpeil tegen te gaan, wordt er vaak een overstort voorzien bij een pompstation. Wanneer het water dan teveel stijgt, zal het water geëvacueerd worden door overstorten van het stelsel.

In principe wordt een pompstation ontworpen op een vast werkingpunt, hetgeen in de realiteit niet daadwerkelijk het geval is. Bij droge weersomstandigheden, en dus alleen afvalwater, zal er normaal gezien sprake zijn van enkelwerking in het pompstation. Hierbij zal het waterpeil variëren tussen het aan- en afslagpeil van de eerste pomp. Dit peil bepaalt samen met het afwaartse peil van de pomp de opvoerhoogte. Als de opvoerhoogte verandert zal ook het werkingpunt veranderen. Hetzelfde zal gebeuren in parallelwerking, aangezien het waterpeil dan zal variëren tussen afslagpeil en overstortpeil. Dit alles wordt inzichtelijk gemaakt in figuur 27.

WERKINGSPUNT POMPEN



Figuur 27: werkingpunt van centrifugaalpompn bij verschillende weersomstandigheden

De karakteristiek van de pomp geeft het verband weer tussen het debiet van de pomp en de opvoerhoogte. Dit kan weergegeven worden in een tabel en een curve. Om de karakteristiek te verkrijgen, worden er metingen van de pompwerking verricht. Een voorbeeld van een tabel die werd verkregen bij een dergelijke meting is weergegeven in de onderstaande figuur. Hierin is H_{tot} de opvoerhoogte en Q het verpompte debiet door de pomp.

Tabel 7: tabel verkregen door de werking van een centrifugaalpomp te meten

H_{tot} (m)	H_{dyn} (m)	Q (l/s)	H_{tot} (m)	Q (m ³ /h)	P_1 (kW)	I (A)	$p.f$	η_{tot} (%)	η_{motor} (%)	η_{hyd} (%)	P_2 (kW)
26.51	0.00	0.33	26.51	1.18	8.18	15.57	0.76	1.04	86.81	1.20	7.10
24.46	0.05	7.51	24.42	27.04	8.82	16.46	0.77	20.44	87.29	23.41	7.70
22.51	0.19	15.29	22.32	55.04	9.58	17.55	0.79	35.23	87.74	40.15	8.41
20.72	0.45	23.33	20.27	83.99	10.55	18.80	0.81	44.96	88.13	51.01	9.30
19.56	0.78	30.67	18.78	110.40	11.26	20.01	0.81	52.26	88.33	59.17	9.95
18.01	1.19	37.96	16.82	136.66	12.15	21.31	0.82	55.20	88.50	62.38	10.75
16.41	1.73	45.71	14.69	164.54	12.68	22.12	0.83	58.04	88.56	65.54	11.23
14.70	2.34	53.26	12.36	191.74	13.20	22.83	0.83	58.21	88.60	65.70	11.69
13.12	3.07	60.98	10.05	219.52	13.51	23.30	0.84	58.08	88.61	65.55	11.97
11.75	3.75	67.37	8.00	242.54	13.54	23.37	0.83	57.32	88.61	64.69	12.00

De leidingkarakteristiek betreft meer het specifieke energieverlies ΔH . Dit wordt meestal gegeven over de lengte van de leiding (L_{PL}) in functie van het debiet door die leiding (Q_{PL}). De energieverliezen treden op door wrijving met de leiding en de verandering in stromingspatronen in de leiding. In de leidingen zullen ook bijzondere lokale verliezen optreden door bochten en afsluiters. Dit alles is in formulevorm weer te geven als: $\Delta H = K * Q_{PL}^2 * L_{PL} + \sum \xi * K' * Q_{PL}^2$

Wanneer er sprake is van persleidingen met aanzienlijke lengte, zijn de lokale verliezen qua orde grootte te verwaarlozen. In het model was er altijd sprake van persleidingen van aanzienlijke lengte, waardoor de formule herschreven kan worden tot: $\Delta H = K * Q_{PL}^2 * L_{PL}$. De parameters hebben hierin de onderstaande betekenis:

K = coëfficiënt

Q_{PL} = Debiet door de persleiding

L_{PL} = Lengte van de persleiding

K is een waarde die wordt berekend aan de hand van de formules van White-Colebrook en Darcy-Weisbach. Voor een persleiding, die een cirkelvormige interne diameter heeft, zijn deze te herschrijven tot:

$$K = \frac{8 * f}{g * \pi^2 * D^5}$$

$$\text{waarbij } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2,03 * \log_{10} * \left[\frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} + \frac{k_s}{3,7 * D} \right]$$

Re = Reynolds getal

D = Interne leidingdiameter

k_s = zandkorrelruwheid

De zandkorrelruwheid is te bepalen aan de hand van onderstaande tabel.

Tabel 8: Tabel met de zandkorrelruwheid van verschillende materialen

	k_s nieuwe leiding (mm)	k_s in gebruik zijnde leiding (mm)
HDPE	0,1	0,5
GVP	0,1	1,0
Asbest	0,1	1,0
Gietijzer/Staal	0,25	1,0

Centrifugaalpompe zonder persleiding

Een centrifugaalpompe hoeft niet altijd gekoppeld te zijn aan een persleiding. In dat geval zal de pompe alleen gebruikt worden om het water op te voeren. Dit kan zijn naar een open waterloop of naar een vrijval leiding. In dat geval wordt gesproken over een centrifugaalpompe zonder persleiding. Bij een dergelijke pompe is alleen de pompkarakteristiek van belang voor de werking van de pompe.

Frequentiegestuurde pompe

Er kan ook sprake zijn van een bijzonder type centrifugaalpompen, namelijk frequentiegestuurde pompen. Bij deze pompen kan het toerental in de tijd gevarieerd worden om andere parameters zo lang mogelijk constant te houden. Op die manier kan het peil bijvoorbeeld bewust onder het aanslagpeil van de tweede pompe worden gehouden om te voorkomen dat deze in werking treedt. In het zuiveringsgebied Beveren-Leie zijn echter geen frequentiegestuurde pompen aanwezig.

Bijlage B: Knijpconstructies

In deze bijlage volgt een meer uitgebreide uitleg van de verschillende knijpconstructies die aanwezig kunnen zijn in het rioleringsstelsel.

Knijpopeningen en schuiven

Een knijpopening is een debietsbeperkende constructie die strikt te zien is als een overgang van het stelsel naar een kleiner doorstroomoppervlak over een minimale lengte. Wanneer het doorstroomoppervlak over een grotere lengte wordt verkleind is er sprake van een knijpleiding. Het verschil is vaak dat knijpopeningen zich binnen structuren bevinden en knijpleidingen niet. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Het belangrijkste verschil in hydraulische zin zijn de energieverliezen die bij een knijpleiding moeten worden ingerekend. Bij een knijpopening hoeft dit, gezien zijn geringe lengte, niet.

Een schuif is een andere debietsbeperkende constructie, welke hydraulisch gezien hetzelfde effect heeft als een knijpopening. Wanneer de schuif gedeeltelijk wordt dichtgezet, ontstaat namelijk een knijpopening. De schuif en de knijpopening zullen daarom samen besproken worden.

Het debiet dat wordt doorgelaten door de knijpopening of schuif zal vooral afhangen van de waterhoogte op- en afwaarts hiervan en het doorstroomoppervlak. InfoWorks-CS werkt met de onderstaande formule om het debiet door een knijpopening te berekenen.

$$Q = C_d * A * \sqrt{(2g * H)}$$

C_d = debietcoëfficiënt

A = oppervlakte van knijpopening

G = gravitatieversnelling

H = waterhoogte ten opzichte van de knijpopening

InfoWorks-CS gebruikt voor de debietcoëfficiënt de standaardwaarde 0,6.

De formule gaat uit van uniforme en permanente stroming, hetgeen in rioelstelsels niet altijd het geval zal zijn. Desondanks geeft het modelleren van knijpopeningen en schuiven op deze manier een tamelijk goede benadering van de werkelijke situatie.

Een probleem binnen InfoWorks-CS is het feit dat alleen cirkelvormige knijpopeningen ingebracht kunnen worden, terwijl schuiven slechts als rechthoekig kunnen worden gemodelleerd. In de praktijk is er echter sprake van zowel rechthoekige als cirkelvormige knijpopeningen alsmede schuiven. Om uiteindelijk te komen tot een zo realistisch mogelijke weergave van de werkelijkheid wordt per keer bekeken of het wellicht zinvol is om de knijpopening danwel schuif modelmatig anders in te geven. Zo kan gekozen worden om een knijpopening als schuif te modelleren of andersom. Nog een andere optie is het ingeven van een equivalente diameter, waarbij het doorstroomoppervlak berekend wordt en vervolgens de equivalente diameter wordt bepaald voor een andere vorm. Met deze methodes is de werkelijkheid goed te benaderen.

Wervelventielen en hydroslides

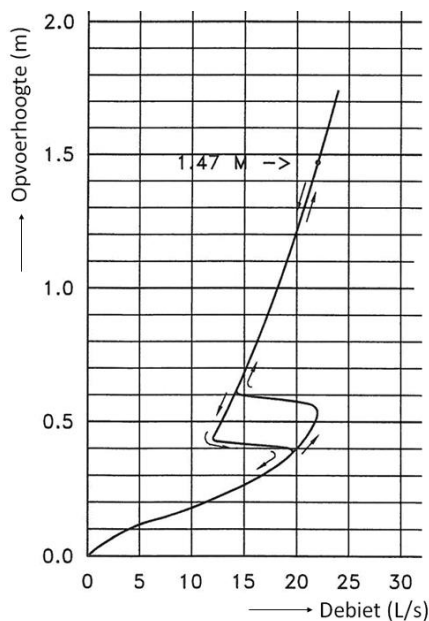
Wervelventielen en hydroslijdes zijn andere debietsbeperkende constructies en kennen enkele bijzondere eigenschappen. Hoe deze constructies eruit zien of kunnen zien is weergegeven in figuur 28.



Figuur 28: Een hydroslijde en een wervelventiel

Zowel een wervelventiel als een hydroslijde zullen vanaf relatief lage opwaartse waterhoogten het debiet beperken. Bij een hydroslijde wordt dit geregeld met behulp van een vlottermechanisme, terwijl in een wervelventiel het stromingspatroon wordt veranderd om het debiet te begrenzen.

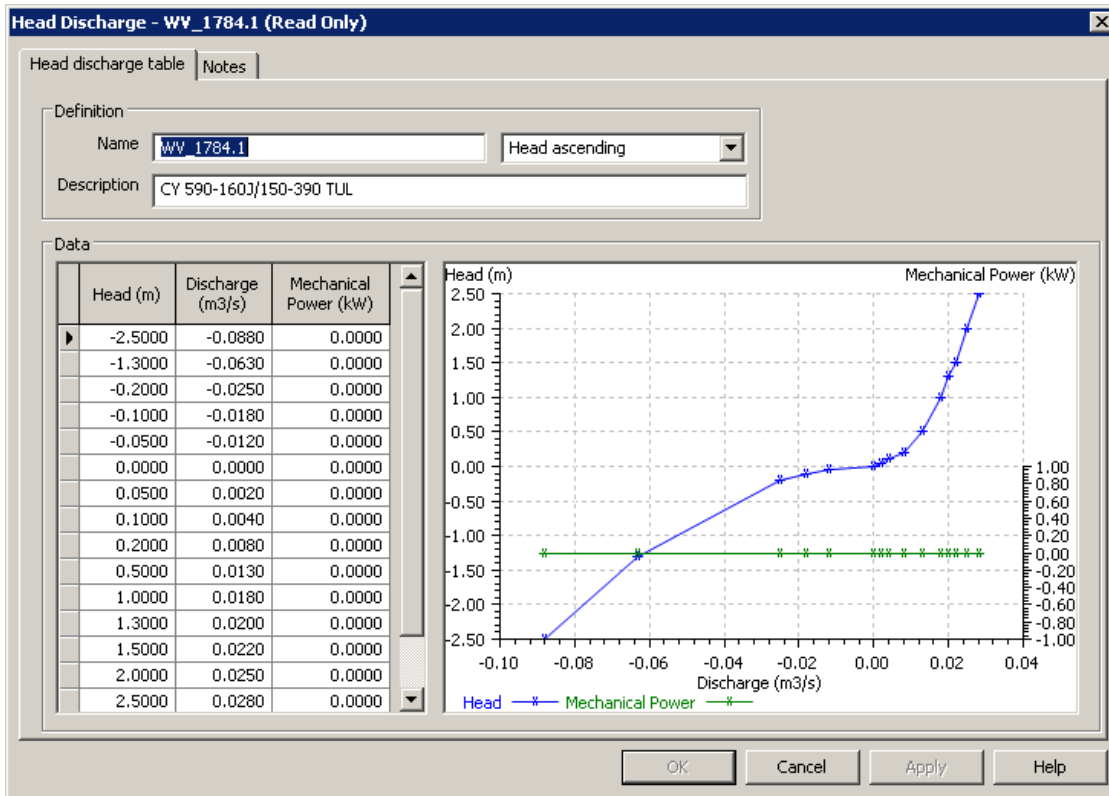
Door de vorm van het wervelventiel worden cycloonvormige stromingspatronen gecreëerd in de conus van het ventiel. Dit levert een typische karakteristiek op, welke hieronder in figuur 29 is weergegeven.



Figuur 29: Karakteristieke afvoerkromme wervelventiel

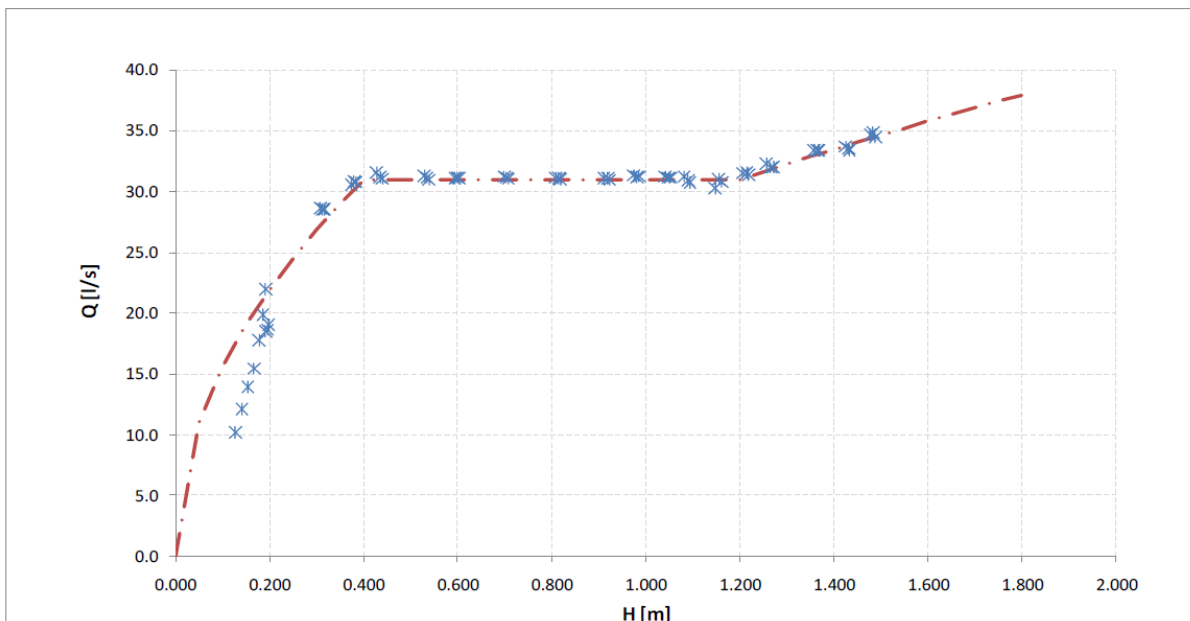
Duidelijk in de grafiek te zien is de hysteresiszone, dit is de lus die in de grafiek zit. Deze zone is een instabiele toestand die de overgang markeert tussen het stromingsregime voor en nadat de werveling optreedt.

Om te komen tot een realistische weergave van de werking van de wervelventielen, worden gegevens opgevraagd van de bemeten afvoercurves. Deze worden vervolgens in het model gebracht door de laagste afvoercurve aan te houden. Hierbij wordt de hysteresiszone dus genegeerd. Een voorbeeld van dergelijke invoer in InfoWorks-CS is hieronder in figuur 30 weergegeven.



Figuur 30: Voorbeeld van een ingevoerde afvoerkromme van een wervelventiel

Bij een hydroslide gebeurt de regulering van het debiet nauwkeuriger. Er is een vlotter aanwezig die dusdanig is gekalibreerd dat er bij een stijgende waterhoogte een bepaald deel van de doorstroomopening wordt afgesloten. Hierdoor is er bij verschillende waterhoogten sprake van een min of meer constant debiet. Op een gegeven moment zal het vlottermechanisme de doorstroomopening niet verder verkleinen, omdat er anders een volledige blokkade wordt gerealiseerd. Op dat moment kan het debiet dus weer toenemen. Dit levert typisch onderstaande karakteristiek op.



Figuur 31: Typische karakteristiek van een hydroslide

Bijlage C: Overstorten en terugslagkleppen

Overstorten

Overstorten worden voorzien om ervoor te zorgen dat plaatselijk te grote debieten geëvacueerd kunnen worden naar een lozingspunt of een ander deel van het stelsel. Hiervoor worden drempels voorzien in het stelsel. Het debiet over de drempel zal vooral bepaald worden door de breedte en hoogte van de drempel en daarnaast door de opwaartse waterhoogte. InfoWorks-CS rekent met de onderstaande formule:

$$Q = \frac{2}{3} * C_d * B * \sqrt{(2g * h^3)}$$

C_d = debietcoëfficiënt

B = breedte van de drempel

G = gravitatieversnelling

H = dikte (hoogte) van de overstortende laag

Een voorbeeld van een overstort die in werking is, wordt gegeven in figuur 32.



Figuur 32: Overstort die in werking is

Terugslagkleppen

Terugslagkleppen zorgen ervoor dat er geen terugstroming kan optreden in het stelsel. Hierdoor kan er slechts in één richting doorstroom plaatsvinden. Een voorbeeld van een terugslagklep is gegeven in figuur 33.

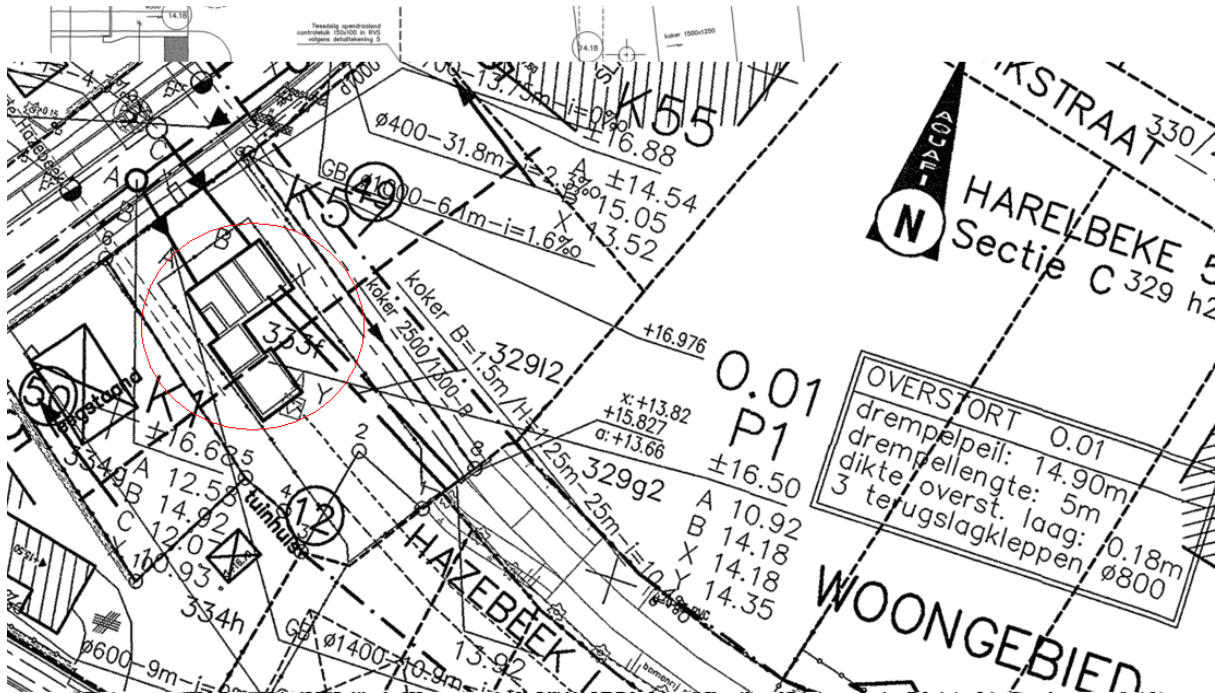


Figuur 33: terugslagklep

Zoals te zien zijn alle zaken die zich in het pompstation bevinden opgenomen in het bovenaanzicht. Echter zijn lang niet alle zaken hydraulisch van belang voor het op te stellen model. Hieronder zal systematisch worden doorlopen hoe een dergelijke structuur wordt bekeken.

In- en uitgaande leidingen

Eerst wordt bekeken wat de in- en uitgaande leidingen zijn binnen de structuur. Deze zijn ook vanuit de databank geïmporteerd, maar er moet gecheckt worden of dit klopt. Het grondplan is hieronder weergegeven.

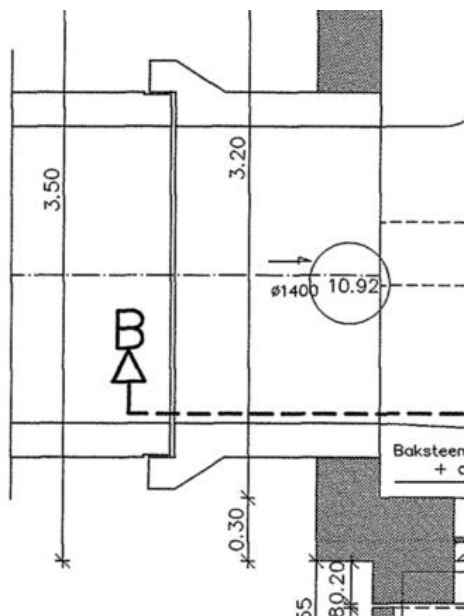


Figuur 35: Grondplan pompstation Hulste

De ingaande leidingen (A en B) en de uitgaande leidingen (X en Y) zijn duidelijk zichtbaar ter hoogte van de structuur (rode cirkel). Op het bovenaanzicht zijn vervolgens duidelijk de afmetingen van de buizen weergegeven. Deze zijn hieronder in de tabel opgenomen. In figuur 36 is een vergrote weergave van leiding A opgenomen.

Tabel 9: Specificaties van de ingaande en uitgaande leidingen in het pompstation

Leiding	Vorm	Afmetingen B x H (mm)	BOK (m TAW)	Bijzonderheden
A	Cirkelvormig	1400	10,92	
B	Cirkelvormig	700	14,18	
X	Rechthoekig	1500-1250	14,18	
Y	Cirkelvormig	250	14,35	Persleiding



Merk op dat leiding B wordt opgegeven als een leiding met een diameter van 700 millimeter, terwijl op het as-built plan een 500 millimeter leiding wordt gegeven. Dit is gedaan aangezien de afwaartse knoop, nummer 1726 is opgemeten door de landmeters. Een gedeelte van de fiche is hieronder in tabel 10 opgenomen. In dat geval gaat een opgemeten waarde voor op een as-built plan. De zojuist getabelleerde waarden worden samen met de juiste vlaggen geïmporteerd in het model.

Figuur 36: Doorsnede toekomstige leiding A

Tabel 10: Gedeelte van de fiche van knoop 1726

													1726
	OPW. KNOOP	DIEPTE (m)	BOK (m TAW)	VORM	AFMETINGEN (mm)		MATERIAAL	MATERIAAL LINING	BE-KLEDING	BOUW JAAR	AARD	TYPE	INSPECTIESCORE
					BREEDTE	HOOGTE							
A	1727	2,64	14,07	C	700	-	B	NVT	G	2001	R	G	G
B													
C													
D													
E													
F													
	AFW. KNOOP												
X	ONB	2,66	14,05	C	700	-	B	NVT	G	2001	R	G	G
Y													

Sedimentatie

Om de verkleining van de afvoercapaciteit door de vorming van sediment in de leidingen correct weer te geven, wordt gebruik gemaakt van de metingen die de landmeter heeft gedaan. In dit geval is het pompstation zelf niet opgemeten, hetgeen te maken zal hebben met het feit dat het terrein niet betreden mocht worden. Daarom zijn de sedimentatiewaarden ter hoogte van de toekomstige leidingen niet bekend. Om toch een indicatie te krijgen van de mogelijke sedimentatie in de leidingen is daarom gekeken naar de sedimentatie in de knopen stroomopwaarts en stroomafwaarts van de

leidingen. Deze waarden zijn hieronder in de tabel weergegeven, inclusief de verbindingen tussen de knopen. Dikgedrukt staan de in- en uitgaande leidingen van het pompstation.

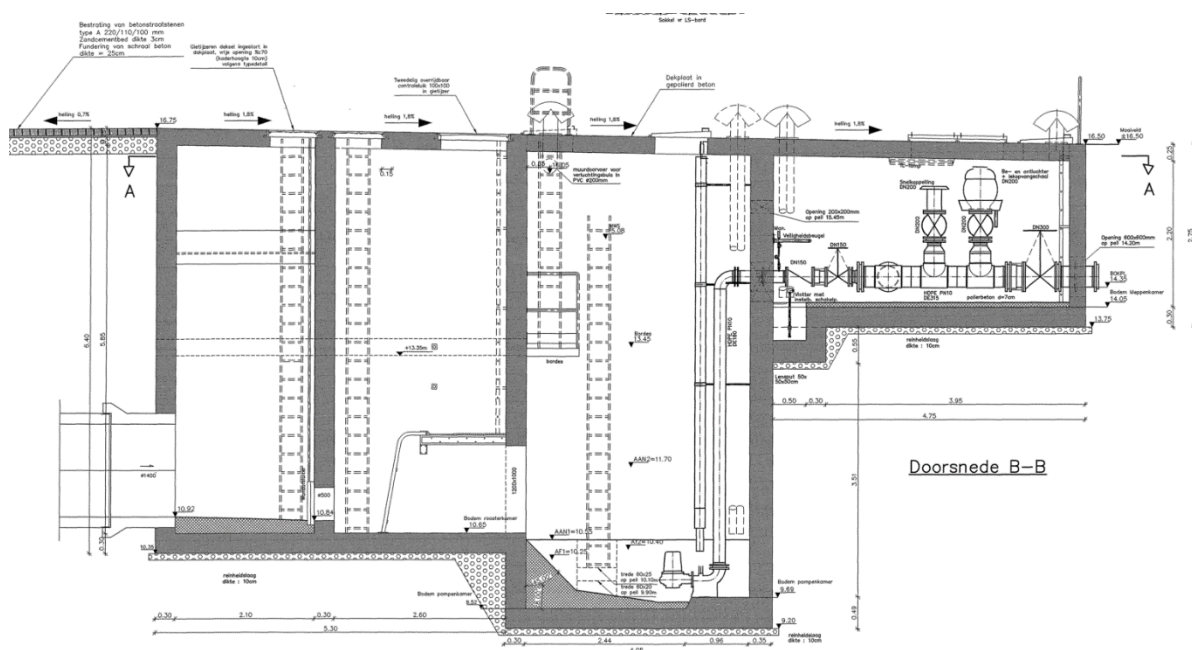
Tabel 11: Sedimentdieptes in de putten stroomopwaarts en stroomafwaarts van het pompstation:

Leiding	Opwaartse knoop	Afwaartse knoop	Sedimentatie opwaartse knoop (mm)	Sedimentatie afwaartse knoop (mm)	Aangenomen sedimentatiediepte leiding (mm)
A	5577	1724	0	Niet bekend	0
B	1726	1724D3	40	Niet bekend	40
X	1724D3	5578	Niet bekend	0	0
Y	1724d	1871	Niet bekend	0	0

Aangezien er geen opmeting is kan de geschatte sedimenthoogte incorrect zijn. De vlaggen worden daarom als AW ingevuld.

Tussenliggende structuren

Nu moet gekeken worden naar de hydraulische structuren die in het pompstation gelegen zijn. In figuur 37 is de dwarsdoorsnede gegeven waarop leiding A en de pompen (richting leiding Y) te zien zijn.



Figuur 37: Dwarsdoorsnede van het pompstation met daarop zichtbaar leiding A, de pompen en uitgaande leiding Y

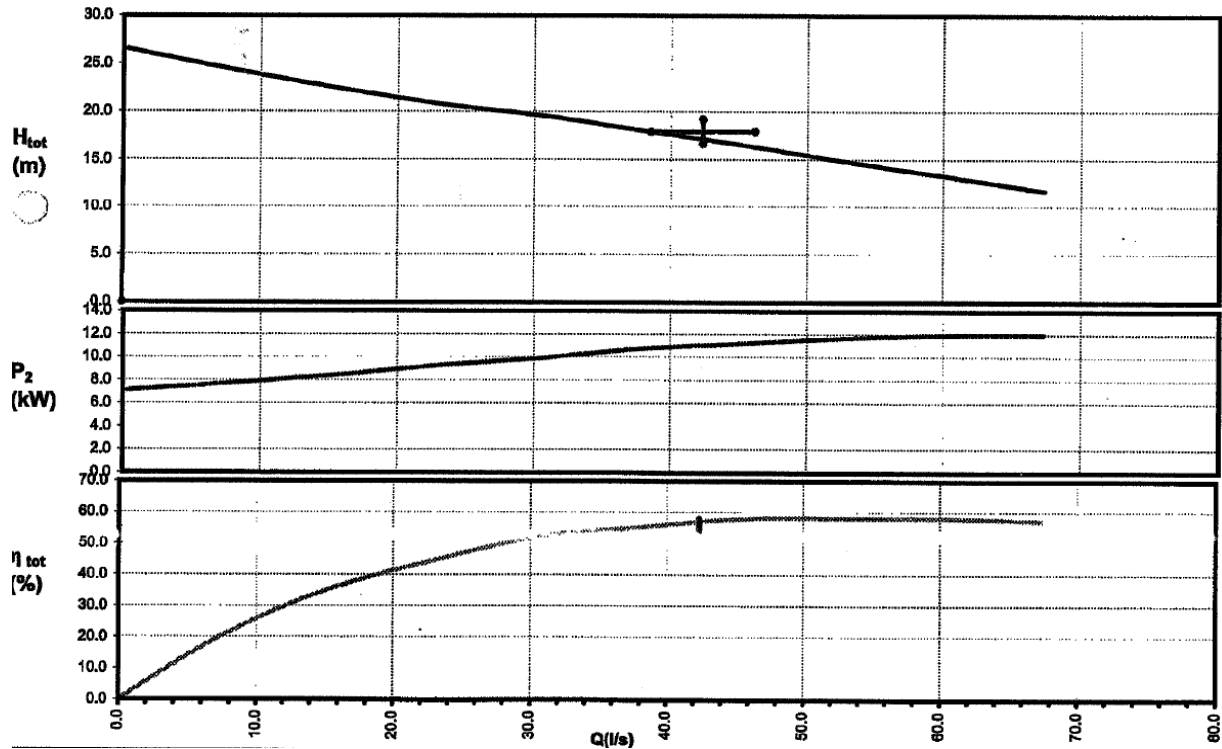
Uit de dwarsdoorsnede wordt duidelijk dat het gaat om centrifugaalpompen in een 2+1 opstelling. Deze verpompen het debiet naar een afwaarts gelegen pompstation door een persleiding. De gegevens van de pompen werden opgevraagd bij Aquafin, de beheerder van het pompstation. De pompcurves werden opgevraagd bij ABS BELGIUM, de leverancier van de pompen. In figuur 38 is een gedeelte van de verkregen informatie van Aquafin opgenomen. Hierop zijn de aan- en afslagpeilen van de pompen terug te vinden, maar ook het overstortpeil. Deze zijn vervolgens in het model gebracht. In figuur 39 is één van de verkregen pompcurves weergegeven. Ook de pompcurves werden vervolgens in het model gebracht.

Stuurpeilen:

	mTAW	mLOK	Niveau in %	Niveau in cm
Aanslagpeil 1	10.94	-5.82	14.0	90
Aanslagpeil 2	11.91	-4.85	29.0	187
Afslagpeil 1	10.49	-6.27	7.0	45
Afslagpeil 2	10.88	-5.88	13.0	84
Overstortpeil (HMAX)	14.89	-1.87	75.0	485

Laatste wijziging: 28/09/2009

Figuur 38: Een gedeelte van de verkregen informatie van Aquafin betreffende het pompstation in de Kuurnsestraat

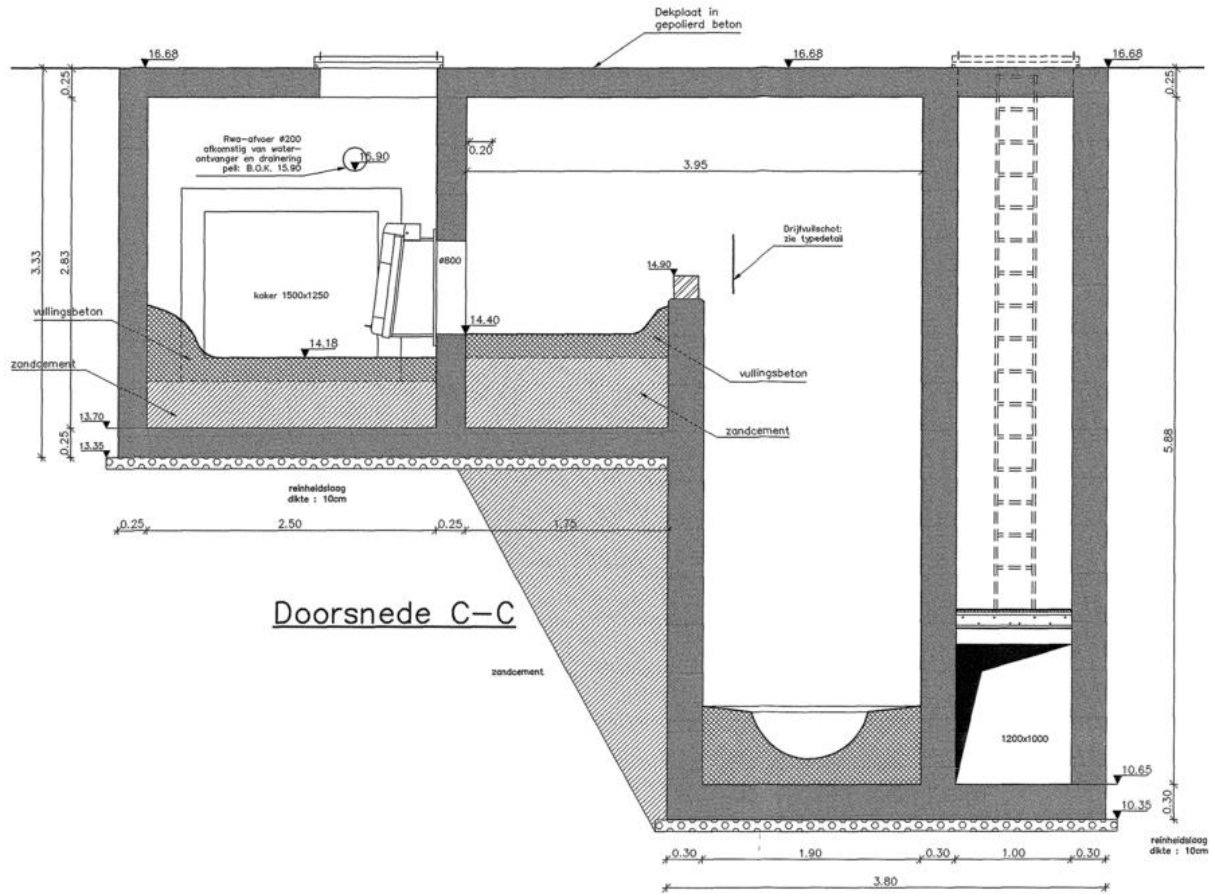


Figuur 39: Eén van de verkregen pompcurves van ABS BELGIUM betreffende het pompstation in de Kuurnsestraat

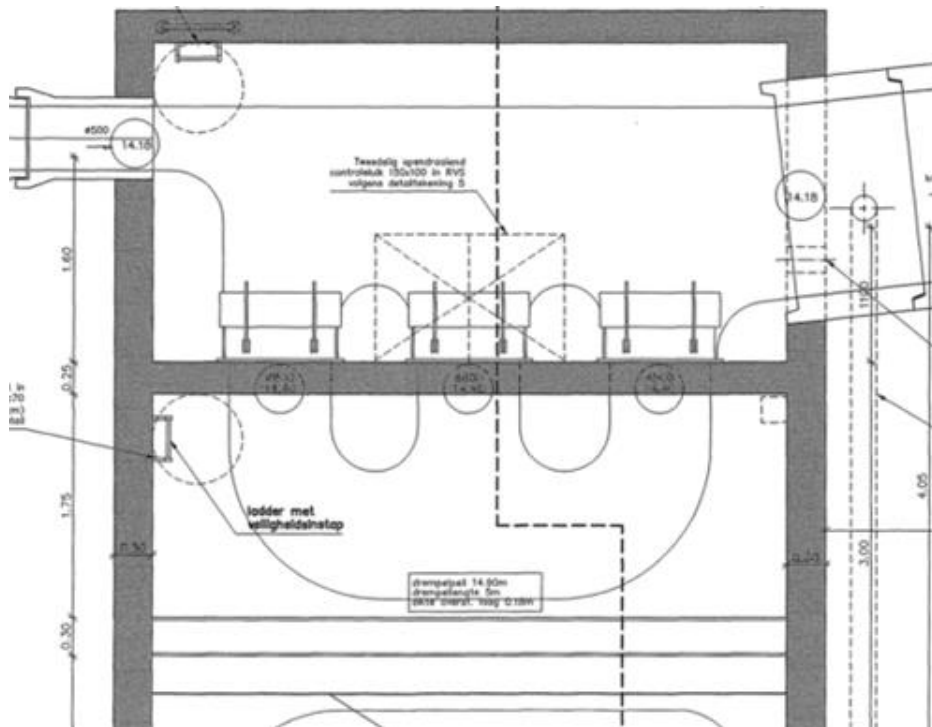
Figuur 40 laat een andere doorsnede zien, waarop uitgaande leiding X zichtbaar is. Voordat het water door deze leiding kan worden afgevoerd zal het echter een zeker peil moeten bereiken. Pas bij het bereiken van een peil van +14,90 m TAW zal het water over de drempel storten en door kunnen stromen naar uitgaande leiding X. Dit moet in model worden gebracht als overstort. Voor de drempelhoogte wordt de informatie gebruikt die werd verkregen vanuit Aquafin, aangezien dit opgemeten waardes zijn.

Uit figuur 41, welke een gedeelte van het bovenaanzicht bevat alsmede uit figuur 40 wordt duidelijk dat er ook nog terugslagkleppen aanwezig zijn tussen de overstort en uitgaande leiding X. Dit betekent dat terugstroming vanuit leiding X onmogelijk kan plaatsvinden. Daarom moeten in het model ook drie terugslagkleppen worden opgenomen.

De pompen zullen het water opvoeren door een persleiding. Om er zeker van te zijn dat de persleiding over zijn gehele lengte als persleiding werkt, is het lengteprofiel van de persleiding bekeken. Hieruit bleek dat de persleiding geen alsmar stijgend verloop kent. De leiding heeft namelijk meerdere dalende benen. Aangezien de dalende benen constant onder het peil blijven waarop de leiding stroomafwaarts toekomt, zal de gehele persleiding zeker onder druk staan en werken als persleiding. Vandaar wordt deze ook in het model gebracht als persleiding.



Figuur 40: Een doorsnede van het pompstation in de Kuurnestraat waarop uitgaande leiding X zichtbaar is



Figuur 41: Gedeelte van het bovenaanzicht waarop duidelijk te zien is dat er drie terugslagkleppen aanwezig zijn tussen de overstort en uitgaande leiding X

Aan de hand van bovenstaande redenering en werkwijze werden alle structuren systematisch in kaart gebracht.

Bijlage E: Bevraging bedrijven

In deze bijlage is de opzet terug te vinden die is gebruikt om de grote bedrijven te bevragen naar de wijze waarop zij in hun afwatering voorzien. Deze opzet is hieronder weergegeven. Daarnaast is een voorbeeld gegeven van een satellietfoto die als bijlage werd meegestuurd in figuur 42.

Geachte,

In opdracht van Infracx werkt het studiebureau Antea Group een studie uit ter optimalisatie van een deel van het rioleringsstelsel van de gemeentes Lendeledede en Harelbeke (Hulste, Bavikhove).

Graag hadden wij van U volgende informatie bekomen van uw gebouw met adres in de rand vermeld (zie ook bijgevoegde luchtfoto):

- Wordt het water gescheiden (regenwater – afvalwater) afgevoerd?
- Waar sluit het water op de riolering/gracht/waterloop?
- Hoe gebeurt de afwatering van de wegennis/parking?
- Wordt er water gebufferd?
 - Wat is de inhoud van de buffer (en/of regenwaterput)?
 - Wat is de oppervlakte van de buffer?
 - Hoe groot is de diameter van de knijpleiding onder de buffer?
 - Op welke diepte ligt de onderkant van de leiding (de binnenzijde)?
 - Op welk peil ligt de overloop van de buffer? Langs waar wordt die afgevoerd?
 - Wordt de buffer ook nog door anderen gebruikt? B.v. als bluswater? En wat is het volume dat daarvoor is voorzien?

Als het mogelijk is, zouden we bij voorkeur graag een afwateringsplan ontvangen waarop duidelijk aangegeven is hoe het (afval)water wordt afgevoerd.

In bijlage vindt U alvast een luchtfoto. Deze kan eventueel gebruikt worden voor het maken van aanduidingen.

Mocht u geen beheerder/eigenaar zijn van dit gebouw, hadden we graag van u de contactgegevens van de beheerder ontvangen.

Graag hadden wij deze informatie zo snel als mogelijk van u ontvangen, waarvoor onze dank.

Wij danken u alvast voor uw medewerking aan deze studie.

Ruud Boom
Antea Group
+32 (0)9 261 63 48
Ruud.Boom@anteagroup.com
www.anteagroup.be





Figuur 42: Voorbeeld satellietfoto

Bijlage F: Bewerking composietbuien

De composietbuien die worden gebruikt om neerslag te simuleren in InfoWorks-CS worden niet zonder bewerkingen ingerekend. Het betreft eerst nog een bruto neerslag die niet volledig in de riolering komt. De bewerkingen die Infoworks-CS uitvoert om te komen tot de netto neerslag worden hieronder beschreven. Er zijn vier verschillende elementen waarmee rekening wordt gehouden. Dit zijn de neerslag, initiële verliezen, continue verliezen en het neerslagafstromingsmodel.

Neerslag

Er wordt bij elke bui begonnen met neerslagprofielen die de intensiteit van de bui bevatten. De buien hebben een duur van 48 uur en de tijdstap van de neerslagprofielen is in het model vijf minuten. In de basis wordt dus gestart met de intensiteit van de composietbui op elke vijf minuten gedurende 48 uur. De verdamping tijdens de periode van neerslag is reeds ingerekend in de bui. De verdamping tijdens droge omstandigheden wordt buiten beschouwing gelaten.

Bij het simuleren van de neerslag wordt getracht rekening te houden met ruimtelijke en temporele variaties binnen het studiegebied. Dit wordt gedaan door een numerieke afvlakking toe te passen op de ruwe neerslagwaarden. Dit is weergegeven in onderstaande formule:

$$p'_t = 2 * \mu * p_{t-1} + (1 - 2 * \mu) * p_t$$

Hierin is:

p'_t = de afgevlakte intensiteit op tijdstip t

p_t = de ruwe intensiteit op tijdstip t

μ = parameter voor de afvlakking

De parameter voor de afvlakking μ wordt bepaald op basis van de oppervlakte per neerslagprofiel.

Initiële verliezen

Hieronder worden de verliezen geschaard die tot stand komen door opname van regenwater als plasberging. Dit water zal dus niet tot afstroming komen. Aangezien de evaporatie buiten beschouwing wordt gelaten in droge omstandigheden, is er alleen plasberging beschikbaar aan het begin van de bui.

Voor de berekening van de plasberging worden de onderstaande formules gehanteerd:

$D = \frac{k}{\sqrt{S}}$ wanneer er sprake is van een helling in het terrein (dit moet apart gedefinieerd worden bij het attribuut 'initial loss type' als 'slope')

$D = k$ wanneer er sprake is van nagenoeg vlak terrein

Hierin is:

D = het potentiële initiële verlies per oppervlaktetype

k = de verliesparameter

S = de helling

De standaardwaarde voor D is twee millimeter voor dakoppervlakten, straatoppervlakten en niet bijdragende onverharde oppervlakten. Voor open bekkens wordt deze berekend op basis van de

hoogte van het bekken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de maximale belasting van het stelsel uit wordt gegaan van reeds volledig gevulde bekkens. Daar zal dus geen extra plasberging worden ingerekend.

Continue verliezen

Voor de inschatting van afvoerparameters voor onverharde afstromende oppervlaktes wordt gebruik gemaakt van tabel 12. Deze waarden geven een indicatie van de runoff die plaats vindt op verschillende soorten ondergrond en hellingspercentages. De vermelde waarden in de tabel werden gebaseerd op basis van onderzoeken in de praktijk door verschillende wetenschappers.

Tabel 12: Afvoerparameters voor onverharde afvoerende oppervlakten

Landgebruik	Helling (%)	Bodemsoort						
		Zand	Lemig zand	Licht zand- leem	Zandleem	Leem	Klei	Zware klei
Akkers	< 0.5	0.21	0.24	0.27	0.33	0.36	0.45	0.54
	0.5-5	0.25	0.28	0.31	0.37	0.40	0.49	0.58
	5-10	0.30	0.33	0.36	0.42	0.45	0.54	0.63
	> 10	0.41	0.44	0.47	0.53	0.56	0.65	0.74
Weiland	< 0.5	0.03	0.06	0.09	0.15	0.18	0.27	0.36
	0.5-5	0.06	0.08	0.11	0.16	0.19	0.29	0.41
	5-10	0.13	0.14	0.14	0.18	0.21	0.32	0.50
	> 10	0.18	0.19	0.20	0.24	0.26	0.38	0.54
Bos	< 0.5	0.03	0.06	0.09	0.15	0.18	0.27	0.36
	0.5-5	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20	0.29	0.41
	5-10	0.25	0.23	0.23	0.23	0.24	0.32	0.45
	> 10	0.21	0.24	0.27	0.33	0.36	0.45	0.54
Braakland	< 0.5	0.30	0.33	0.36	0.42	0.45	0.54	0.63
	0.5-5	0.34	0.37	0.40	0.46	0.49	0.58	0.67
	5-10	0.39	0.42	0.45	0.51	0.54	0.63	0.72
	> 10	0.50	0.53	0.56	0.62	0.65	0.74	0.83
Bebouwing	< 0.5	0.32	0.34	0.36	0.41	0.43	0.49	0.55
	0.5-5	0.34	0.36	0.38	0.41	0.43	0.50	0.58
	5-10	0.39	0.39	0.40	0.43	0.44	0.53	0.65
	> 10	0.43	0.43	0.44	0.47	0.48	0.56	0.68
Open Water		1	1	1	1	1	1	1

Voor verharde oppervlakten zoals straat en dak wordt gerekend met een vaste afvoercoëfficiënt van 0,9. Dit is een standaardwaarde die wordt opgelegd in de Hydronautprocedure.

Neerslagafstromingsmodel

Nadat de verliezen zijn berekend wordt er nog rekening gehouden met de afvlakking en vertraging die zal optreden bij de afstroming richting de riolering. Het model dat hiervoor wordt gebruikt is het dubbel lineair reservoirmodel, ook Wallingford model genoemd. In deze methode wordt de oppervlakte waarop de neerslag valt beschouwd als een fictief reservoir, waarvan de uitstroom evenredig is met het gestockeerde volume. Dit zal hieronder worden toegelicht.

Een reservoir kan voorgesteld worden door onderstaande vergelijking:

$$S = k * Q^n$$

Hierin is:

S = het bergingsvolume dat aanwezig is in het reservoir

k = een reservoirconstante

Q = het uitstromende debiet

n = een factor (deze = 1 voor lineaire reservoirs en $\neq 1$ voor niet lineaire reservoirs)

Bij het Wallingford model wordt deze formule twee keer achter elkaar doorlopen. Als de continuïteitsvergelijking wordt toegepast op de vergelijking, hoeft alleen de reservoirconstante als parameter te worden ingegeven. In InfoWorks-CS wordt deze echter automatisch berekend op basis van de neerslagintensiteit en de terreinkenmerken. De formule hiervoor is:

$$k = C * i^{*-0,39}$$

Hierin is:

C = een functie van de terreinhelling en het bijdragende oppervlak

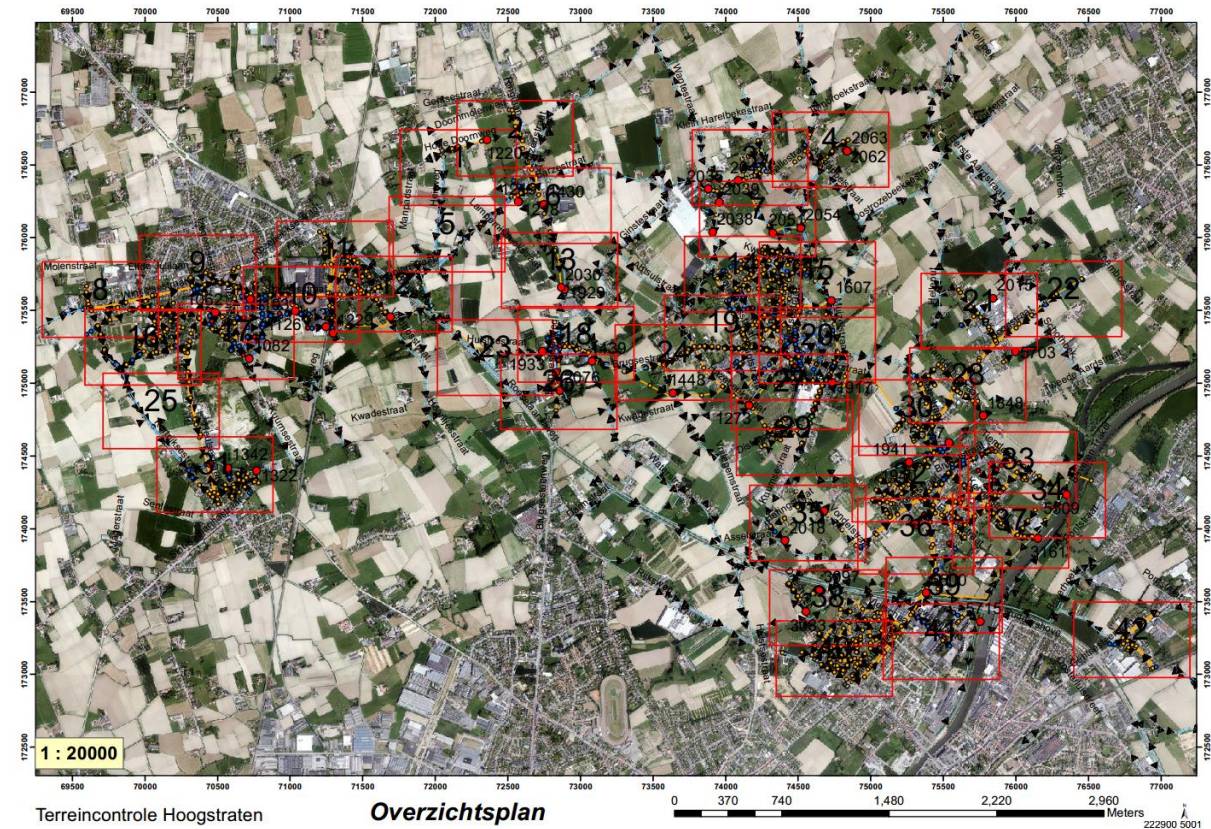
i^* = een functie van de neerslagintensiteit

Hoe deze functies exact in elkaar zitten wordt zowel in InfoWorks-CS als in de Hydronautprocedure niet verder toegelicht. In wezen fungeert de software hier dus als Black Box. De reservoirconstante zal daarom niet handmatig worden aangepast.

Bijlage G: Voorbereiding terreinbezoek

In deze bijlage is kort beschreven hoe het terreinbezoek van de in- en uitlaten in het stelsel werd voorbereid.

Voor het terreinbezoek werd er een overzichtsplan gemaakt in ArcMap. Hierin werden knopen en leidingen uit het stelsel ingeladen. Vervolgens werd het gebied voorzien van verschillende deelgebieden. Deze werden voorzien om deelplannen te maken, waarop duidelijk de knopen en de straten in het gebied zichtbaar waren. Het overzichtsplan is weergegeven in figuur 43 en één van de deelplannen in figuur 44.



Figuur 43: Overzichtsplan dat werd opgemaakt in ArcMap ten behoeve van het terreinbezoek van alle in- en uitlaten in het studiegebied

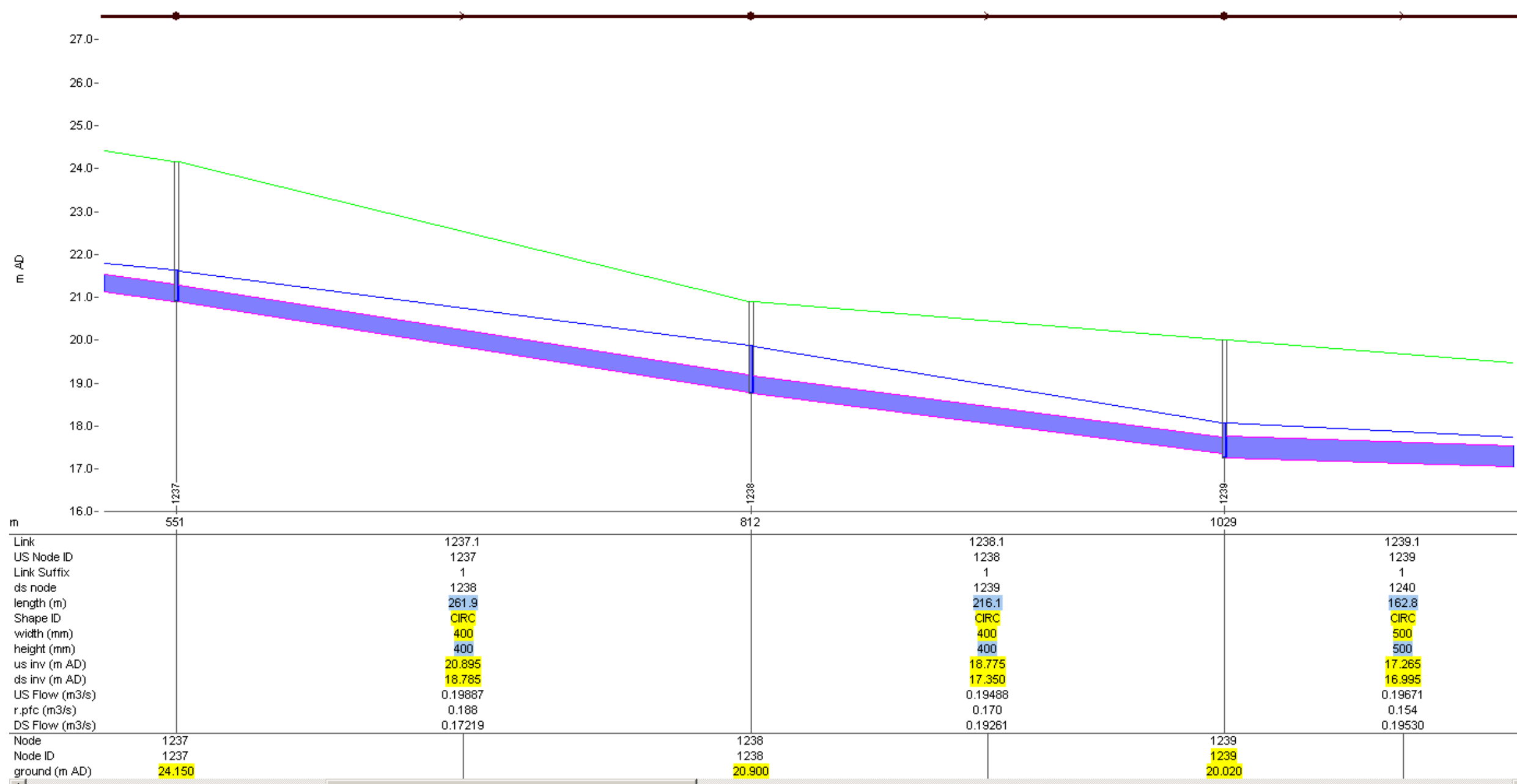


Figuur 44: Eén van de deelplannen waarop duidelijk naar voren komt op welke locaties de in- en uitlaten gesitueerd zijn

Verder werd een Excel-file opgesteld waarin alle in- en uitlaten werden opgenomen. Deze fungeerde als invulformulier zodat alles duidelijk genoteerd kon worden. Op basis van deze file werd ook de te rijden route uitgestippeld.

Bijlage H: Leidingen onder druk

In deze bijlage wordt uitgelegd wat een onder druk staande leiding is. In de onderstaande figuur is een lengteprofiel van een aantal op elkaar volgende leidingen getoond.



Figuur 45: Een voorbeeld van een onder druk staande leiding

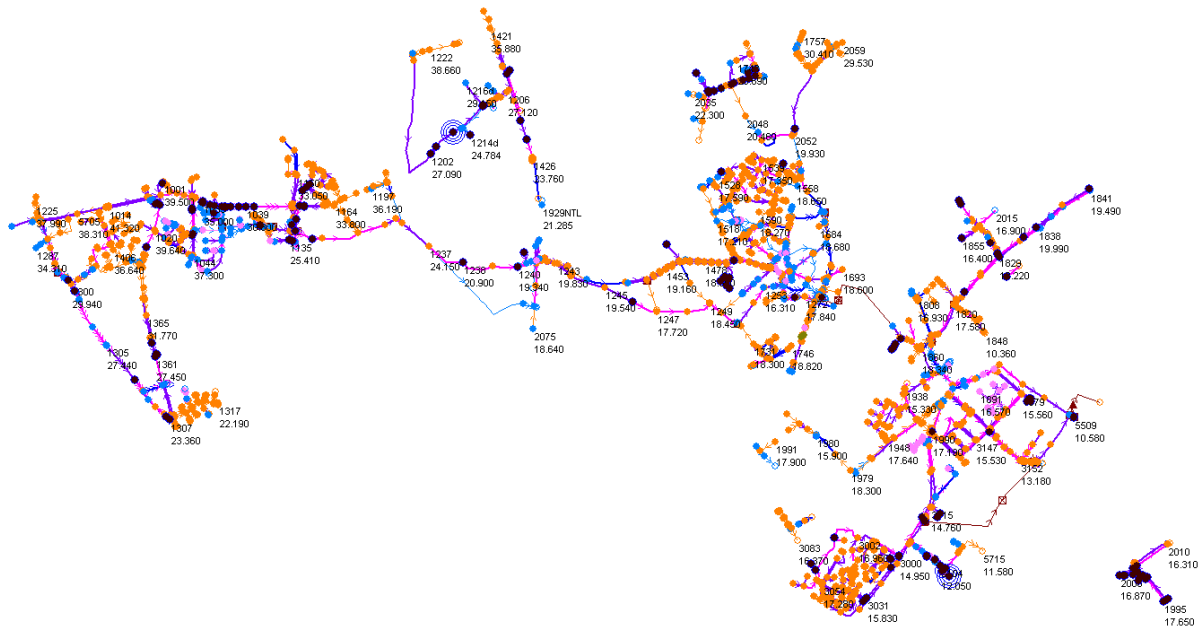
Wanneer een leiding volledig gevuld is, zal het waterpeil in de leiding niet verder kunnen stijgen. Het waterpeil in de putten kan echter nog wel toenemen. In bovenstaande figuur geeft de blauwe lijn de drukhoogte van het water weer, terwijl de groene lijn het maaiveldpeil voorstelt. Zoals is te zien in de figuur is er geen sprake van water op straat, aangezien er geen water boven het maaiveldpeil komt ter hoogte van de putten. Wel is er sprake van gevulde leidingen, aangezien de capaciteit van leidingen maximaal wordt aangewend.

Het verschil tussen een gevulde en onder druk stromende leiding zit in het volgende: een leiding stroomt onder druk, wanneer de opwaartse waterhoogte groter is dan de afwaartse waterhoogte. Op dat moment kan zich druk opbouwen in de leiding. Wanneer het omgekeerde het geval is zal de leiding wel gevuld zijn, maar niet onder druk stromen. In figuur 45 is dus sprake van een onder druk stromende leiding, aangezien de opwaartse waterhoogte telkens groter is dan de afwaartse waterhoogte.

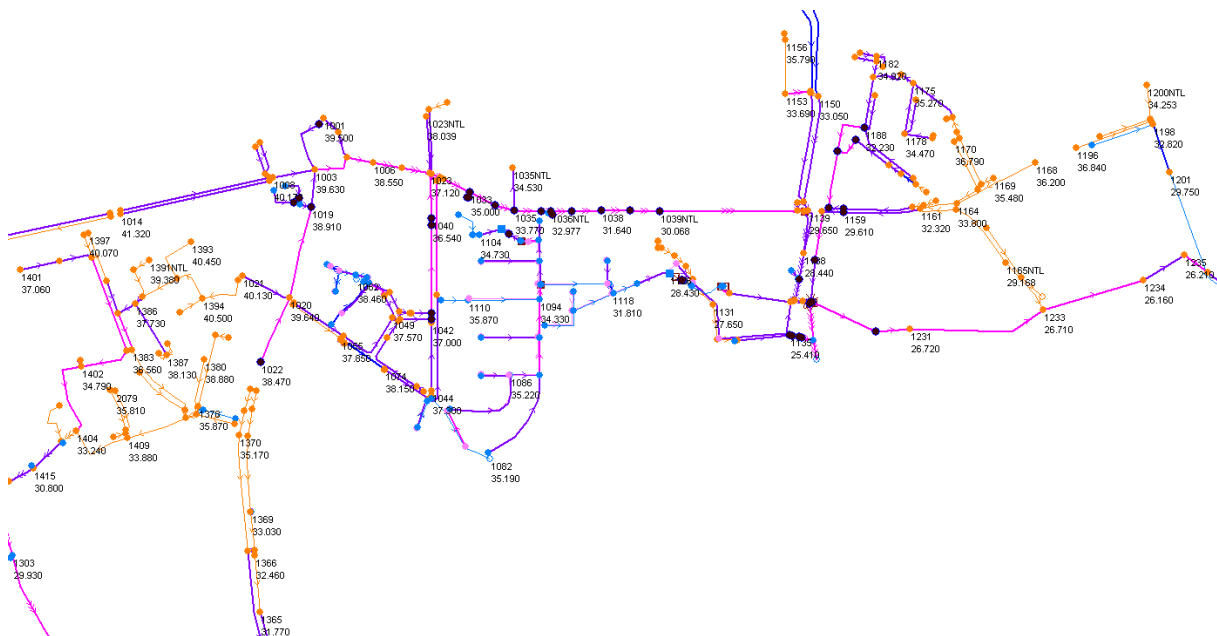
Bijlage I: Simulatieresultaten

In deze bijlage zijn de resultaten opgenomen die met het model worden gegenereerd bij composietbuien die een herhalingstijd hebben van $T = 20, 10, 5$ en 2 jaar. Eerst wordt telkens het volledige stelsel getoond en daarna wordt ingezoomd op een klein gedeelte van het stelsel, namelijk de Stationsstraat en de Hulstemolenstraat in Lendeledede. Hieruit komt duidelijk naar voren dat de wateroverlast steeds verder afneemt, naarmate de buien een lagere herhalingstijd hebben.

Simulatieresultaten bij een composietbui met een herhalingstijd van 20 jaar

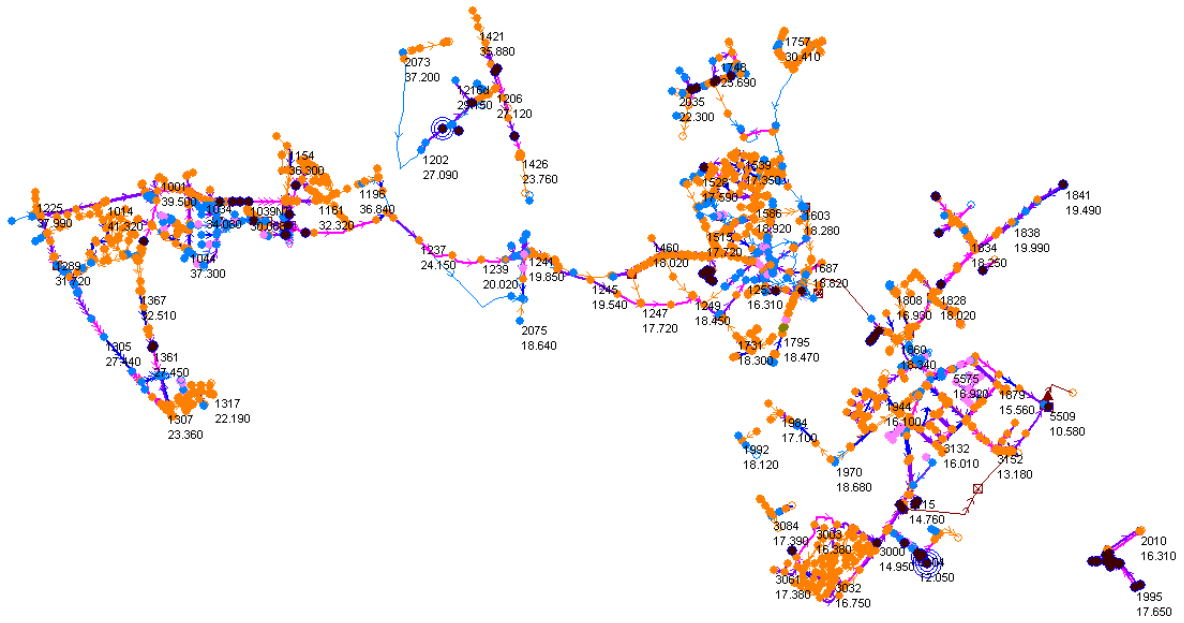


Figuur 46: Wateroverlast bij een T20

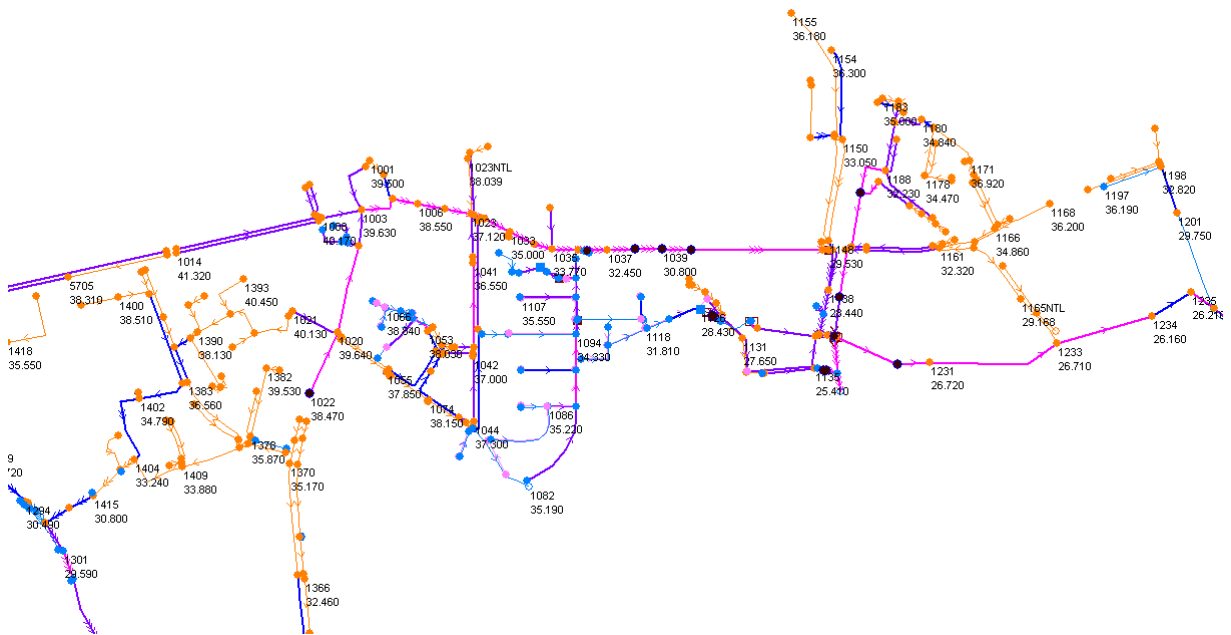


Figuur 47: Lokale wateroverlast ter hoogte van de Stationsstraat/Hulstemolenstraat te Lendeledede bij een T20

Simulatieresultaten bij een composietbui met een herhalingstijd van 5 jaar



Figuur 50: Wateroverlast bij een T5



Figuur 51: Lokale wateroverlast ter hoogte van de Stationsstraat/Hulstemolenstraat te Lendeledede bij een T5

